

Posgrado en Diseño
Especialización, Maestría y Doctorado



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

**SISTEMA MODULAR
PARA LA CONFORMACIÓN DE
ESCULTURA CERÁMICA MONUMENTAL**

Sandra Rodríguez Mondragón

Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño
Línea de Investigación: Nuevas Tecnologías

Miembros del Jurado:

Dr. Luis Jorge Soto Walls
Director de la tesis

Mtro. Manuel Martín Clavé Almeida
Codirector de la tesis

Dr. Oscar Herrera Alcántara
Mtra. Irma Alejandra Zafra Ballinas
Mtra. Mónica Patricia Stevens Ramírez
Mtro. Roberto Bernal Barrón

México D.F.
Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mis tutores, el Dr. Luis Soto y el Mtro. Martín Clavé, quienes con su constante orientación, valiosos comentarios y sugerencias, me dieron la pauta para realizar y concluir esta tesis.

Su atención, plena dedicación, infinita paciencia y generosidad al compartir su experiencia y conocimientos, son un ejemplo que ha dejado huella en mi formación profesional y personal; además les agradezco su confianza y su amistad.

A Carlos Enrique Hernández García, siempre dispuesto a motivarme y ayudarme para realizar mis estudios.

Agradezco al Dr. Oscar Herrera Alcántara, por su acertada colaboración y disposición durante la fase experimental.

Asimismo, a los técnicos del laboratorio de fisicoquímica y en general a la división de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM Azcapotzalco, por su buena disposición y amabilidad en todo momento.

Agradezco al Mtro. Antonio Abad, a Martín Flores, a Thania Rebollar, a Yolanda Gallegos, Ivette Escobar, al Dr. Iván Garmendia, a Yara Álvarez, a Araceli Zaragoza, a María Serrato, a Paola Ubaldo y a Gustavo Gámez, quiénes me han apoyado para mantenerme y ahora concluir satisfactoriamente en este posgrado.

Me gustaría agradecer a todos mis profesores, amigos y compañeros del posgrado, puesto que su ayuda y consejo, me ayudó a ser mejor persona.

Creo que no sería justo olvidar a mi hermana Elizabeth, con quién he reído y llorado en mis triunfos y fracasos, gracias por tu apoyo y comprensión.

A mi sobrina Marcela, quién siempre ha tenido una sonrisa sincera para mí.

Y finalmente a mí familia, sólo ellos saben el trabajo que he realizado para llegar hasta aquí y que todo ello no habría sido posible sin su colaboración.

Ellos siempre han estado presentes y desde aquí les expreso mi gratitud.

A todos, gracias.

Parte I

Proyecto de investigación

Capítulo 1

Definición del proyecto

1.1. Introducción

La presente investigación surge por la necesidad de conocer los elementos requeridos para crear obra plástica con materiales cerámicos, empleando el CAD-CAM¹, como herramienta para realizar propuestas.

En el campo del diseño tampoco es correcto proyectar sin método, pensar de forma artística buscando en seguida una idea, sin hacer previamente un estudio para documentarse sobre lo ya realizado en el campo de lo que hay que proyectar; sin saber con qué materiales construir la cosa, sin precisar bien su exacta función.²

Debido a que el CAD-CAM tiene múltiples aplicaciones, se puede emplear en el desarrollo de obra plástica, sin embargo es primordial detectar las limitaciones y ventajas que permitan al artista o al diseñador emplear adecuadamente estas tecnologías con el fin de potenciar la generación de obra sin limitar su capacidad expresiva.

Se creará así, un sistema de módulos cerámicos a partir de modelado paramétrico, que permitan la realización de obra plástica implementando el uso del CAD-CAM como base del desarrollo artístico. En este documento se ejemplificará la producción de obra plástica con materiales cerámicos a fin de puntualizar los elementos necesarios para la producción de obra escultórica monumental³.

¹CAD, “Computer Aided Design” (Diseño Asistido por Computadora) y CAM “Computer Aided Manufacturing” (Manufactura Asistida por Computadora). Fuente: [http://www.togores.net /home/disenoparametrico](http://www.togores.net/home/disenoparametrico)

²Bruno Munari. *¿Cómo nacen los objetos?*, p.18.

³Escultura monumental: Se emplea para designar aquellas obras que están estrechamente relacionadas con el marco arquitectónico y que tanto por sus dimensiones, como por su función estética, son diferentes de las

1.2. Planteamiento

Para el desarrollo de propuestas de obra artística con materiales cerámicos aplicando el CAD-CAM como herramienta de creación formal, es necesario determinar los elementos que permitan el aprovechamiento de estas tecnologías en pro de su manifestación, sin comprometer la libertad expresiva.

1.3. Antecedentes de la situación problemática

Con objeto de comprobar que el planteamiento del proyecto de investigación cuenta con coherencia y muestra posibilidades de aportación en el medio de los ceramistas, se plantearon tres instrumentos de investigación⁴: una entrevista, el conocimiento informado de la misma y una encuesta anónima, que brindan la certeza de que, en el medio de la cerámica artística, se puede incursionar con propuestas realizadas aplicando el CAD-CAM y que los ceramistas y artistas perciben a estas tecnologías positivamente.

1.3.1. Propuesta para definir el universo de estudio y muestra

Este planteamiento consistió en la realización de seis entrevistas a especialistas del medio artístico y de la cerámica de la comunidad de la UAM⁵ Azcapotzalco, y dos a personajes externos a la misma que son los que se presentan a continuación (ver cuadro 1.3.1) y se complementa el muestreo con la aplicación de encuestas a los dos grupos de estudiantes y profesores de Cerámica de la Escuela de Artesanías del INBA⁶ y al profesor y a los alumnos del grupo de posgrado en Artes y Diseño de la Escuela Nacional de Artes Plásticas obteniendo un total de 32 personas encuestadas del medio de la cerámica.

1.4. Hipótesis

Es posible producir obra artística escultórica, mediante módulos cerámicos desarrollados con modelado paramétrico.

de pequeño formato [...], se denominan a las piezas de pequeño formato [como] escultura manual . Fuente: http://www.revista.unam.mx/vol.5/num7/art43/ago_art43.pdf

⁴ANEXO A. Instrumentos de investigación.

⁵UAM: Universidad Autónoma de México

⁶INBA: Instituto Nacional de Bellas Artes.

No.	Nombre	Descripción	Área de trabajo
1	Alberto Díaz de Cossio	Ceramista con más de 50 años de experiencia en cerámica industrial-artesanal	UNAM Empresario
2	Carlos E. Hernández	Artista visual, escultor, colaborador como asesor del proyecto de tesis	UAM Azcapotzalco
3	García César Martínez Silva	Dr. en diseño, diseñador gráfico y artista multidisciplinario	UAM Azcapotzalco
4	Jaime González Bárcenas	Diseñador industrial, investigador de esmaltes vítreos	UAM Azcapotzalco
5	Jorge Eduardo Zarur	Dr. en diseño, maestro en artes visuales, especialista en museografía y diseñador gráfico	UAEM Zumpango
6	Manuel de la Cera Alonso y Parada	Diseñador gráfico, promotor de arte en redes sociales	UAM Azcapotzalco
7	Roberto Bernal Barrón	Maestro en diseño, diseñador industrial, coordinador de estudios de laboratorio de materialización 3D y control numérico	UAM Azcapotzalco
8	Verónica Huerta Velázquez	Maestra en diseño bioclimático, arquitecta, investigadora en materiales cerámicos	UAM Azcapotzalco

Cuadro 1.3.1: Personajes del medio artístico, ceramistas y especialistas entrevistados.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Aplicar el modelado paramétrico para el diseño de un sistema de módulos cerámicos que permitan la expresión artística, garantizando su eficacia y eficiencia constructiva y su permanencia en espacios exteriores.

1.5.2. Específicos

1. Diseñar un sistema de módulos cerámicos, mediante modelado paramétrico.
2. Producir modelos de módulos cerámicos a partir de *Rapid Prototyping* (RP)⁷.
3. Realizar una propuesta de obra escultórica empleando como base el sistema de módulos cerámicos generados y validar su viabilidad a partir análisis de elementos finitos.

⁷Traducción: Prototipado Rápido

1.6. Justificación

El diseño participativo en colaboración entre el artista y el diseñador, en el uso de las tecnologías CAD, permitirá la creación de obra plástica aplicando el modelado paramétrico a modelos cerámicos desarrollados en primera instancia con técnicas de modelado artístico en materiales cerámicos.

Los modelos cerámicos se transcribirán al lenguaje CAD por medio de escaneo o modelado. Esto generará modelos factibles de parametrizar y lograr el desarrollo de obra plástica tridimensional que puede ser escultórica y se pretende explorar desarrollos de relieves tridimensionales.

La primera propuesta ya realizada, plantea el diseño de mosaico decorativo en un sistema con desarrollos geométricos de características fractales. El continuar explorando las posibilidades de desarrollo de mosaico con el diseño paramétrico, es en sí, una herramienta más para el artista, e influye en su expresión personal, propiciando la creación de obra que sin el uso de estos medios habría sido, si no imposible de crear, si mucho más complicada con métodos tradicionales. Los beneficios que podemos lograr incursionando en este ámbito, se vislumbran haciendo participar al artista del uso de la tecnología como una nueva forma de producir arte, propiciando la creación de alternativas originales que surgen a raíz de estos nuevos métodos. Para los diseñadores el vincular el arte con la producción de objetos y nuevas tecnologías (NT), les provee de un amplio espectro de oportunidades de desarrollo dentro de estas nuevas formas de realización y ello favorece la creatividad en el proceso de generación de propuestas de diseño, surgen así patrones originales basados en modularidad geométrica que sirven para la concepción de su morfo-génesis.

1.7. Metodología

1. Desarrollo de un marco teórico conceptual.
2. Realización de propuestas de diseño para realizar en CAD.
3. Desarrollo propuestas en CAD a partir del modelado paramétrico mediante el programa inventor 2013®.
4. Selección de modelos de CAD para desarrollar modelos con impresión 3D.
5. Selección de materiales y técnicas para la producción de muestras, bocetos y producción de objetos de diseño.

6. Planteamiento de la proyección de la producción de propuesta seleccionada.
7. Desarrollo de propuestas de obra artística por medio de modelado paramétrico.
8. Evaluación de propuestas de diseño por medio del análisis de elementos finitos en el programa Inventor 2013® o ANSYS 15®.
9. Proyección de la propuesta de diseño.

1.8. Aporte al Diseño

La simulación por medio del análisis de elementos finitos, permitirá definir la factibilidad de la realización de las propuestas de obra artística aquí planteadas con materiales cerámicos. Este documento permitirá conocer el proceso de producción, con objeto de prevenir errores de proporción dimensionales, además de que es de gran utilidad para detectar cómo las tecnologías CAD-CAM potencializan la generación de obra artística de vanguardia. La propuesta marca la pauta de la interrelación entre el diseño industrial y el arte, valiéndose del CAD-CAM como elemento conector entre estas dos disciplinas.

1.9. Descripción de la Tesis

El presente documento se realizó de forma práctica - experimental, dando como resultado un caso de estudio que fué el diseño de sistema modular cerámico que tiene aplicaciones escultóricas y que se propone producir en materiales cerámicos.

La tesis consta de tres partes:

- 1ra. Parte. Incluye la estructura general del proyecto de investigación y los antecedentes y el estado del arte en el momento de realizar la investigación.
- 2da. Parte. Consta de cuatro capítulos que constituyen el marco teórico conceptual que dio pie y sustento al desarrollo de la propuesta de diseño: Modulación, la cerámica, obra artística y el CAD-CAM.
- 3ra. Parte: Incluye la realización de la propuesta de diseño como caso de estudio y procesos de experimentación desarrollado en esta tesis.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. El uso de tecnologías CAD para el diseño

2.1.1. Arquitectura

Juanjo Castellón en su investigación “Cerámica celular paramétrica, performativa & free-form”, se enfoca en la integración de herramientas digitales y procesos de diseño contemporáneos con sistemas y materiales tradicionales, y en particular, la cerámica; logrando un sistema material y geométrico que permite la fabricación de superficies estructurales de doble curvatura por medio de ensamblaje de componentes cerámicos. Ha combinado las tecnologías de diseño paramétrico¹ y la fabricación cohesiva retomando los principios desarrollados por Rafael Guastavino y Eladio Dieste.²

En la figura 2.1.1 se puede observar el ejemplo de una estructura generada y controlada paraméricamente, esto permite comprobar su comportamiento estructural mediante simulaciones virtuales de carga.

¹El proceso de parametrización consiste en la especificación de puntos, líneas, curvas o superficies por medio de una o más variables que adoptan valores dentro de intervalos definidos por el usuario. El Modelado Paramétrico es un importante recurso para el diseño conceptual, ya que permite controlar con precisión las modificaciones del diseño. Fuente: [http://www.togores.net /home/disenoparametrico](http://www.togores.net/home/disenoparametrico)

²Castellón, Juanjo, “Cerámica celular paamétrica, performativa & free-form”. p.1.

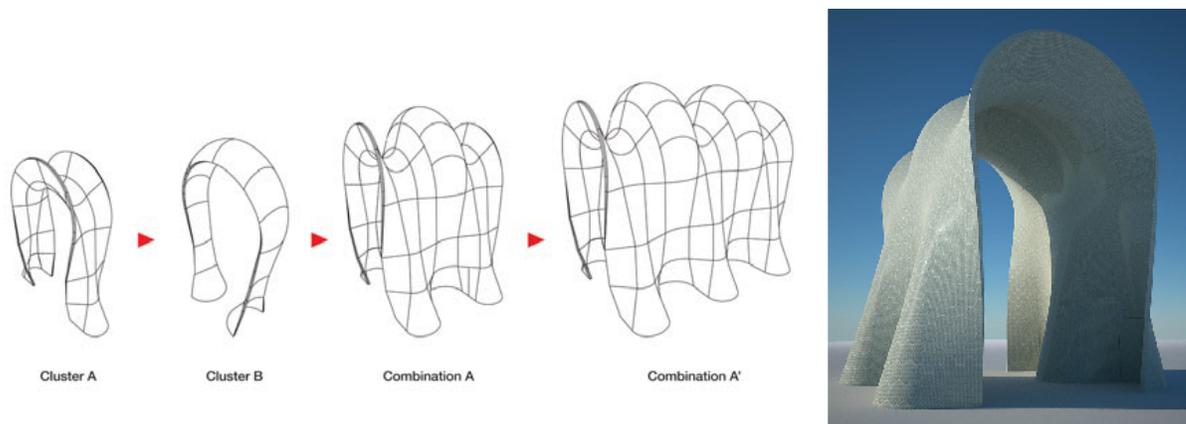


Figura 2.1.1: Castellón, J. 2011. Generación Paramétrica de Estructura abovedada.

2.1.2. Proyecto de diseño industrial “Sólidos Platónicos”

Se tiene como antecedente primario el proyecto de cerámica utilitaria “Sólidos platónicos”³, donde se detecta que es necesario continuar experimentando para poder determinar hasta qué punto CAD permite el desarrollo de modelos para producir objetos cerámicos.

En la figura 2.1.2, se pueden observar los modelos que en un principio se proyectaron para dicho proyecto, en éste se aplica el principio de fractales de Sierpinski como base para el desarrollo de los bajo relieves de las caras de objetos con formas regulares de sólidos platónicos.

En la figura 2.1.3, se presentan los resultados del proyecto antes citado, donde los objetos cerámicos resultantes son planos, conservan sólo los relieves de las caras de los modelos iniciales a razón de que el nivel de detalle propuesto no se logró reproducir en los materiales finales.

Durante este proyecto se concluyó que para lograr llegar al producto propuesto en el modelado, era necesario modificar las dimensiones de los objetos debido a que la resolución de la impresora 3D utilizada fue menor a la que la propuesta de CAD requería, por lo que en primera instancia se sugirió incrementar la escala del modelo.

³Proyecto “Sólidos Platónicos”, Sandra Rodríguez M. en colaboración con Carlos E. Hernández G. y asesoría de Carlos Angulo A. (realizado dentro del Taller de Diseño II de la especialización en Nuevas Tecnologías CAD-CAM, trim 13I-2013, en la UAM unidad Azcapotzalco). Ver ANEXO C.

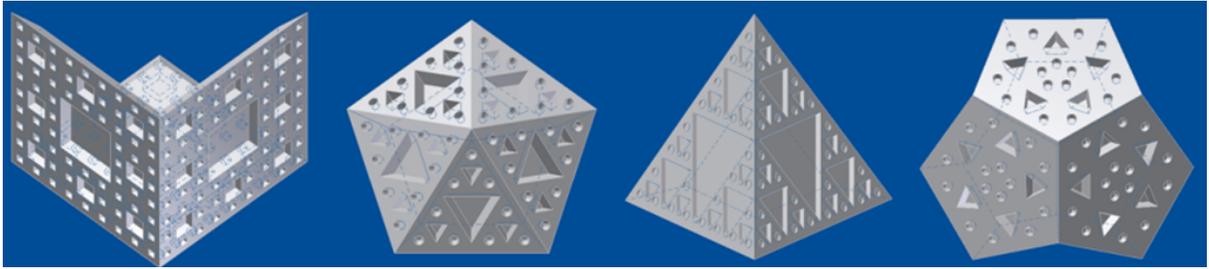


Figura 2.1.2: Rodríguez, S. 2013. Modelado de “Sólidos platónicos”, impresión de pantalla de inventor 2012®.

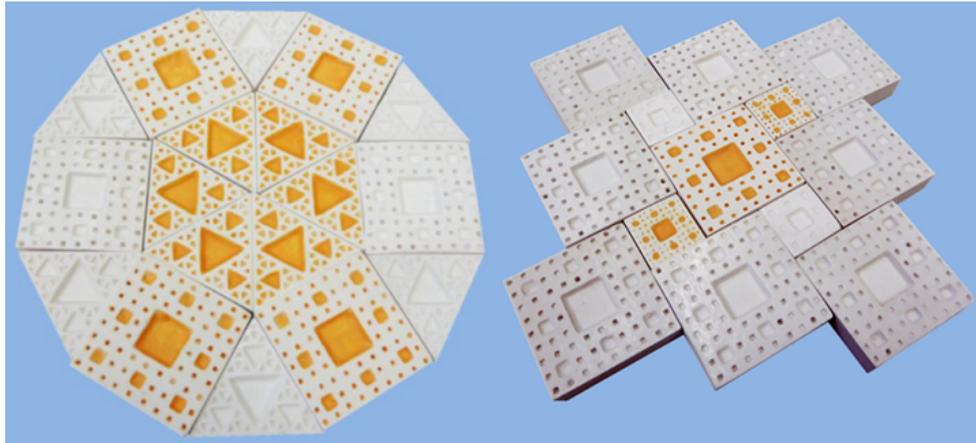


Figura 2.1.3: Hernández, C. 2013. Serie de mosaicos cerámicos cuadrados y triangulares esmaltados en blanco y amarillo en desarrollo radial.

2.1.3. Arqueología

En 2005 José Ma. Tejado⁴ emplea NT⁵ para el registro, la conservación y la difusión de patrimonio arqueológico; por medio de un escáner 3D⁶ y RP⁷, realizando copias digitales de objetos arqueológicos como medida cautelar de preservación. El procedimiento realizado por Tejado consiste en escanear el objeto a preservar como se muestra en la figura 2.1.4, posteriormente se realiza la impresión 3D⁸, es este caso el escaneo permite obtener un modelo a escala 1:1 del modelo original y por medio de impresión 3D se obtiene la réplica (ver figura 2.1.5).

⁴Tejado Sebastián, José María. “Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico”. p. 135-158,

⁵NT “Nuevas Tecnologías”

⁶Escáner Konica Minolta Non-Contact 3D digitizer VI-910. Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2526197.pdf

⁷RP “Rapid Prototyping” (Prototipado Rápido)

⁸Impresora 3D Objet EDEN 500V®. Fuente: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2526197.pdf

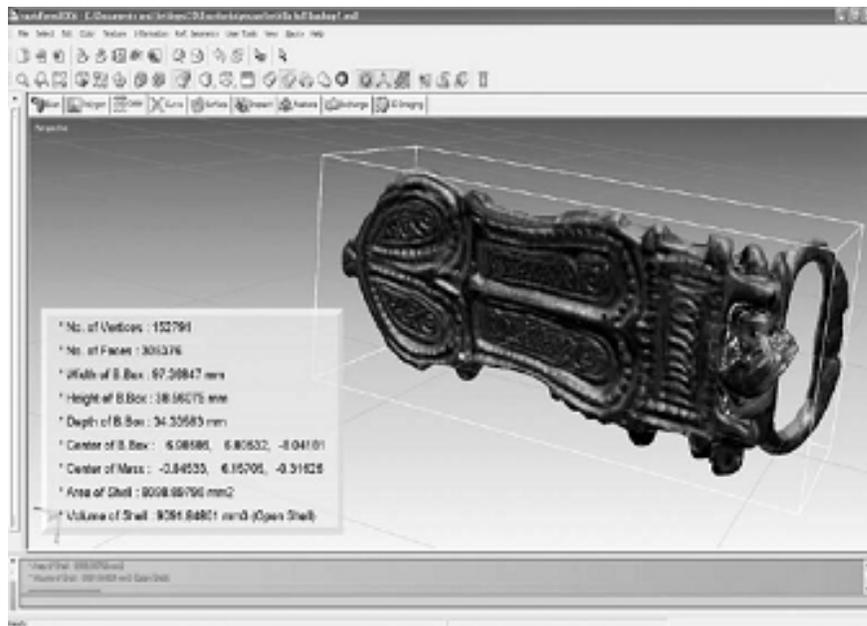


Figura 2.1.4: Tejado, J. 2005. Captura de pantalla del proceso de tratamiento de datos de escaneo.



Figura 2.1.5: Tejado, J. 2005. Resultado final del prototipado.

2.2. Producción artística con tecnologías CAD-CAM

2.2.1. Anton Reijnders y Malcolm Mobutu

En lo que respecta a RP, Anton Reijnders y Malcolm Mobutu en la Universidad de Indiana (Bloomington, Indiana, U.S.), exploran la generación de obra artística por medio de impresión 3D en yeso y en ABS.⁹ En la figura 2.2.1, se observa lo que desarrolló Reijnders, donde un modelo realizado con el programa Rhino 2008, posteriormente se imprime en yeso para obtener la pieza final (ver imagen 2.2.2).

De la misma forma Mobutu hace impresión 3D¹⁰ tanto en yeso como en ABS, en la figura se observa la impresión del mismo diseño en ambos materiales, esto brinda la opción de contar con un mismo diseño, donde al modificar los materiales se obtiene una obra con diferente expresión artística (ver imagen 2.2.3).

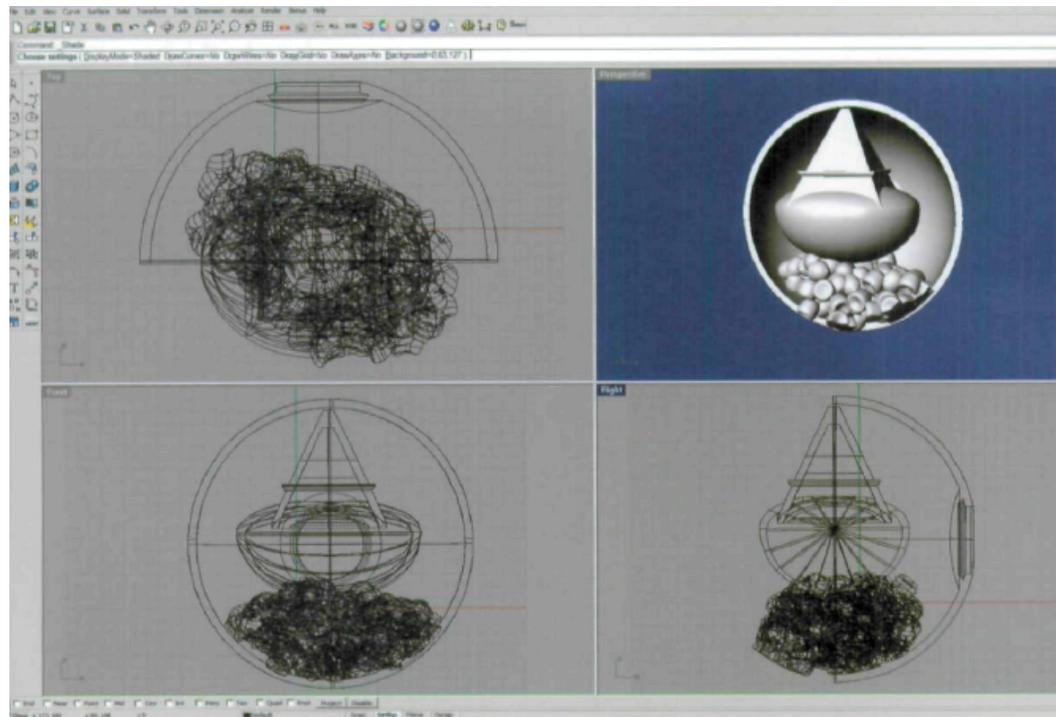


Figura 2.2.1: Reijnders, A. 2008. Objeto modelado en Rhino.

⁹Reijnders, Anton & Mobutu Smith, Malcom. "On virtula sandboxes, cramics technical". p.8.

¹⁰Por medio de una impresora 3D modelo Z Corp Spectrum 510 Printer. Fuente: <http://ceramicart.com.au/ct30.shtml>



Figura 2.2.2: Reijnders, A. 2009. La obra Microcosmos X3. 2009. Impreso en yeso 4.9 in.



Figura 2.2.3: Mobutu, M. 2008. Cuporgan-Highandlow, impreso en ABS (izquierda) e impreso en yeso (derecha) 9.1x4.5x3.5 in.

2.2.2. Halima Cassell

Combinando elementos geométricos con patrones recurrentes y principios de arquitectura, Halima Cassell¹¹ utiliza líneas definidas y ángulos. El efecto esperado en esta obra es transmitir la sensación de movimiento, para ello utiliza arcilla chamotada y arcilla sin esmaltar. Se inspira en el arte islámico y africano y la geometría de la arquitectura (ver imágenes 2.2.4 y 2.2.5).

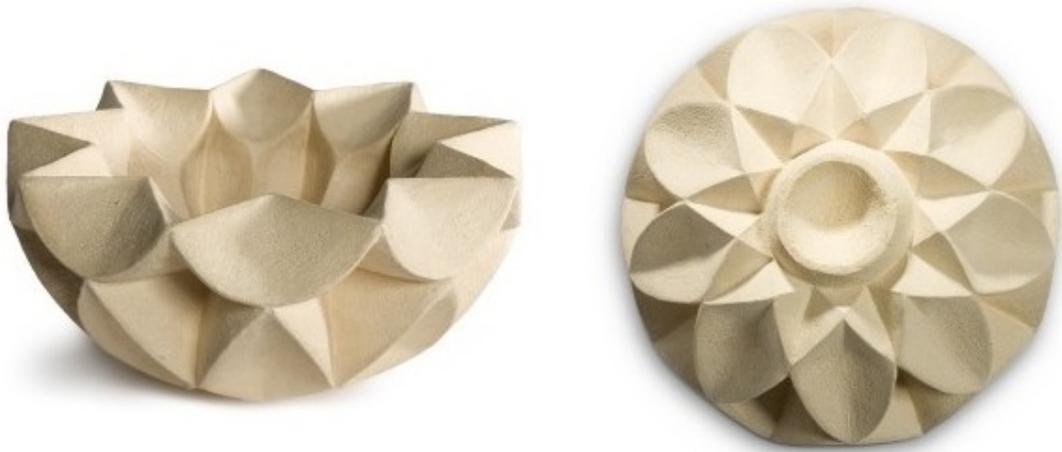


Figura 2.2.4: Cassell, H. 2003 - 2013. "Cell Stem".

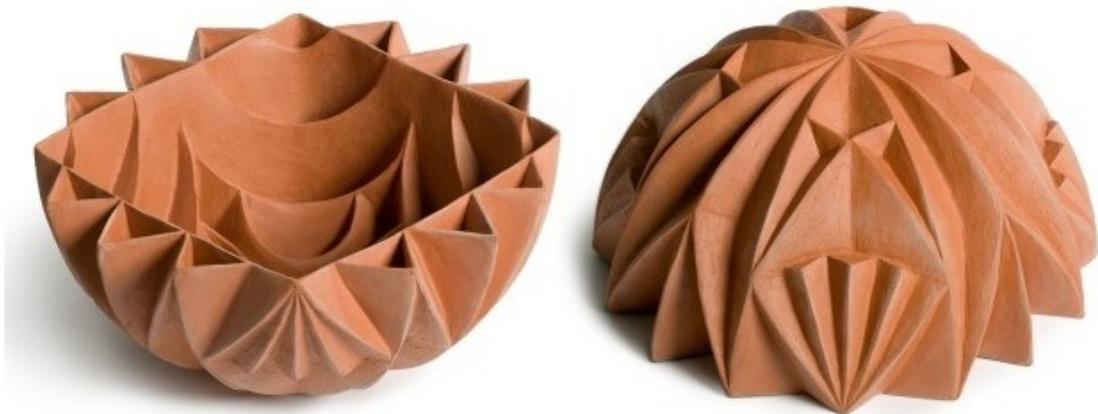


Figura 2.2.5: Cassell, H. 2003 - 2013. "Vaulted Keep".

¹¹fuene: <http://www.halimacassell.com/>

2.2.3. Sol Lewitt

La obra de Sol Lewitt¹² titulada “*Incomplete Open Cube*, 1974” (ver imagen 2.2.6), surge a partir del planteamiento matemático del esqueleto de un cubo al cual se eliminan n aristas ($1 \leq n \leq 9$). Así el desarrollo de la producción de la obra es el resultado de la matriz que se presenta a continuación (ver cuadro 2.2.1):

Número de aristas	Número de cubos abiertos incompletos
3	3
4	5
5	14
6	24
7	32
8	25
9	13
10	5
11	1
Total	122

Cuadro 2.2.1: Posibilidades de desarrollo de la obra “*Incomplete Open Cube*” que responden al planteamiento: $1 \leq n \leq 9$.



Figura 2.2.6: Lewitt, S. 1974. “*Incomplete open cube*”.

¹²Fuente: http://www.multimedialab.be/doc/projections/doc_sol_lewitt.pdf

Desarrollando todas las posibilidades que esta matriz permite, tenemos un total de 122 posibilidades de desarrollo de la obra (ver figura 2.2.7). Esto es un ejemplo de la versatilidad que se puede dar en una obra conceptual a partir de una aplicación matemática, misma que se puede visualizar gracias a las tecnologías CAD, dicho modelado permite su producción con CAM.

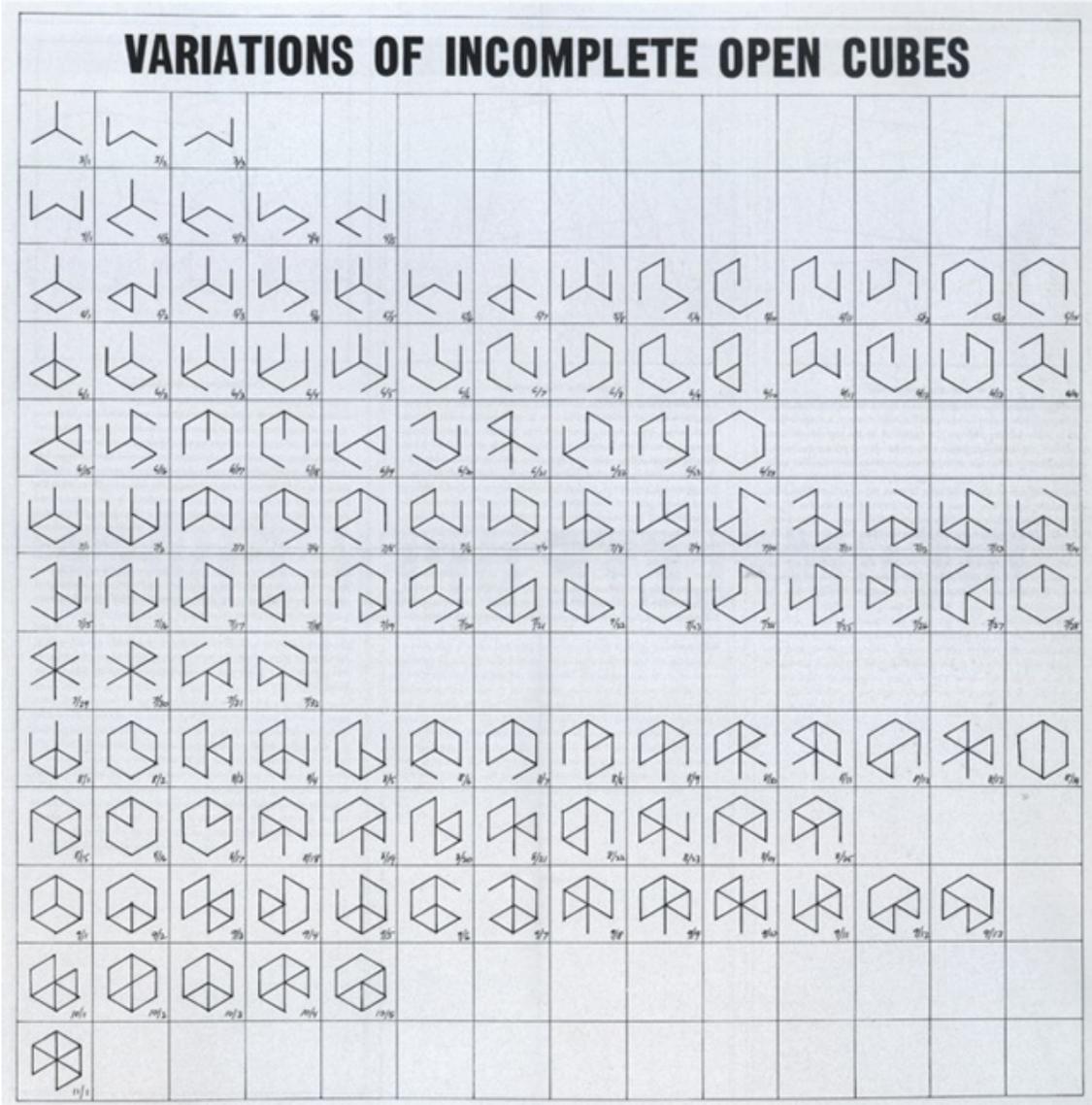


Figura 2.2.7: Lewitt, S. 1974. Variables de “Incomplete open cube”.

Parte II

Marco teórico conceptual

Capítulo 3

Modulación

3.1. ¿Qué es un módulo?

Algunas definiciones son las siguientes:

1. Es “una pieza o conjunto unitario de piezas que se repiten en una construcción de cualquier tipo, para hacerla más fácil, regular y económica”.¹
2. Se conoce como módulo (del latín módulos) a una estructura o bloque de piezas que, en una construcción, se ubican en cantidad a fin de hacerla más sencilla, regular y económica. Todo módulo, por lo tanto, forma parte de un sistema y suele estar conectado de alguna manera con el resto de los componentes. Elemento con función propia concebido para poder ser agrupado de distintas maneras con otros elementos constituyendo una unidad mayor. Unidad convencional de medida para establecer las proporciones de las diversas partes de una unidad arquitectónica o plástica. Medida que se toma convencionalmente como norma o regla para medir o valorar cosas de la misma naturaleza.²
3. Pieza o conjunto unitario de piezas que se repiten o encajan en una construcción de cualquier tipo.³
4. *Cuando un diseño ha sido compuesto por una cantidad de formas idénticas o similares entre sí, son “formas unitarias” o “módulos”. Un módulo puede estar compuesto de elementos más pequeños, que se denominan “sub módulos”.*⁴

¹Recuperado el 01/08/14 de: <http://www.rae.es/>

²Recuperado el 01/08/14 de: <http://definicion.de/modulo/#ixzz3ALGOlrwp>

³Recuperado el 01/08/14 de: <http://www.wordreference.com/definicion/m%C3%B3dulo>

⁴Wucius Wong. *Fundamentos del Diseño*, Gustavo Gili, p.106.

De acuerdo con Bruno Munari⁵, al generar un modulo o un sistema de módulos éstos deben tener relaciones dimensionales, lo que permitirá la interrelación entre ellos, así por ejemplo un módulo puede tener dimensiones con múltiplos de 3 (3, 6, 9, 12, 15, 18, 24 ...) siendo éste factor el que permita la interacción entre los módulos. De esta forma se puede trabajar también con cualidades geométricas, como paralelismo, perpendicularidad, igualdad, concetricidad, simetría, entre otras.

Siguiendo esta lógica los módulos en un sistema pueden ser: isomorfos (misma forma y las mismas dimensiones), homeomorfos (misma forma pero diferente medida) o catamorfos (distinta forma, pero misma lógica de construcción); ejemplo de esto se puede observar en la figura 3.1.1.

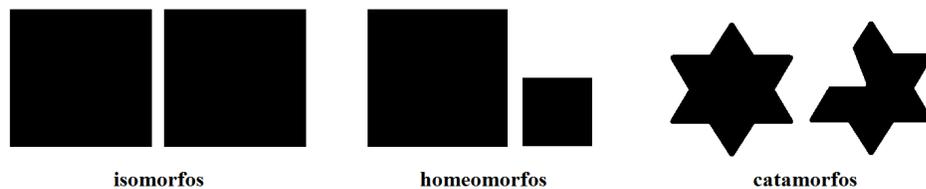


Figura 3.1.1: Rodríguez, S. 2014. Formas de un módulo.

3.2. Modularidad

La modularidad es la capacidad que tiene un sistema de ser estudiado, visto o entendido como la unión de varias partes que interactúan entre sí y que trabajan para alcanzar un objetivo común, realizando cada una de ellas una tarea necesaria para la consecución de dicho objetivo. Cada una de esas partes en que se encuentre dividido el sistema recibe el nombre de módulo. Idealmente un módulo debe ser independiente del resto de los módulos y comunicarse con ellos (todos o sólo una parte), ello puede ocurrir por superposición como es el caso de los ladrillos y a través de entradas y salidas bien definidas.

La modularidad en el diseño permite diseñar objetos realizados con modulación, esta permite optimizar el tiempo de construcción y beneficia la transportación y reorganización, ello impulsa múltiples funciones y su reutilización al permitir un nuevo uso distinto para el que fueron fabricados, de acuerdo con Bruno Munario “El ensamblaje de los elementos del módulo de base será lo más sencillo posible”.⁶

⁵Munari. *¿Cómo nacen los objetos?*, op. cit., p.142

⁶Munari. *¿Cómo nacen los objetos?*, op. cit., p.254

3.2.1. Repetición

El crecimiento de un sistema modular se basa en la repetición, ésta se da a partir de las características del módulo tales como figura (a), tamaño (b), color (c), textura (d), dirección (e), posición, espacio y gravedad (ver figura 3.2.1); a partir de la variación o modificación de estas características se generan sub módulos y un número infinito de combinaciones.

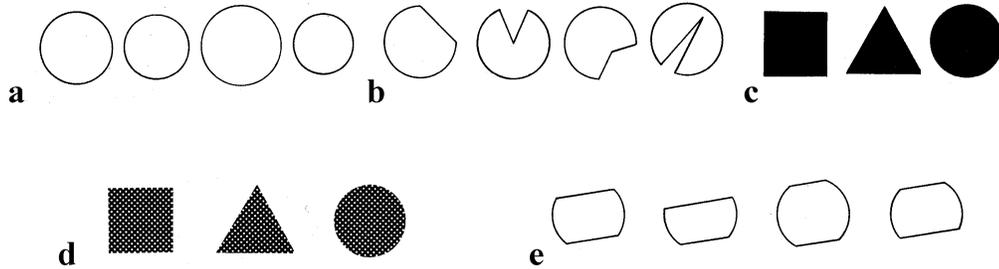


Figura 3.2.1: Wucius, W. 1995. Ejemplos de repetición.

3.2.2. Ritmo

Otro factor importante en la repetición es el ritmo, cuando una o más formas visuales se repiten en una composición, se genera un ritmo. Hay varios tipos (ver figura 3.2.2):

- Uniforme. Cuando una figura se repite a intervalos regulares y conservando su tamaño.
- Alternado. Cuando se repite más de una figura alternadamente.
- Decreciente. Cuando se va reduciendo el espacio entre módulos o su tamaño.
- Creciente. Cuando se va aumentando el espacio entre módulos o su tamaño.

3.2.3. Simetría

Estamos de acuerdo con la definición de simetría de nos da Víctor Murgia, donde afirma que simetría es la *“armonía de posición de las partes y puntos similares unos respecto de otros –y con referencia a un punto, una línea o un plano. Simetría en su forma más simple refiere sencillamente a la armonía entre las partes de un todo”*.⁷

⁷Murgia, Víctor, “Taller de dibujo”. p.3.

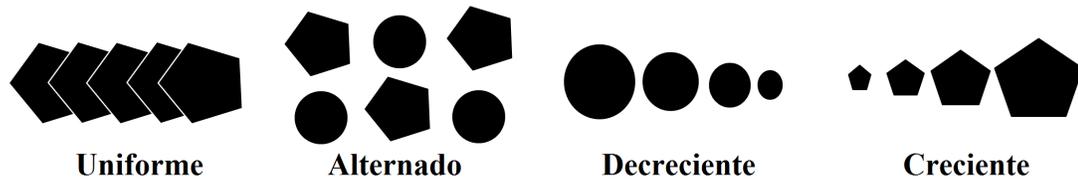


Figura 3.2.2: Rodríguez, S. 2014. Ritmo.

A continuación se describen los tipos de simetría de acuerdo con Murgia y en la figura 3.2.3 se ejemplifican.

- **Traslación:** Una forma referida a una primera forma con respecto a un eje: cada uno de los puntos de la nueva forma está a igual distancia de los puntos a los que refiere en la primera forma y el vector de movimiento o translación es siempre el mismo y es siempre paralelo a los demás vectores.
- **Rotación:** Una forma referida a una primera forma con respecto a un centro: cada uno de los puntos de la nueva forma describen arcos de igual amplitud uno con respecto a su correspondiente en la primera forma, a partir de un mismo centro. Las demás operaciones de simetría derivan de éstas o se deben a su combinación:
- **Reflexión especular:** Donde se combinan la translación y la rotación, y la figura resultante es una imagen en posición inversa a la primera en relación a un eje.
- **Extensión:** Donde la simetría se da en la relación de tamaño de una figura con respecto a otra, manteniendo en cada caso las mismas proporciones para puntos coincidentes en las dos figuras. En este caso, la simetría (en una repetición) puede darse entre figura y figura, y también entre la posición de una figura con respecto a otra (donde las figuras puede variar su tamaño proporcionalmente o mantener su tamaño original) y esto se llama extensión traslatoria.

3.2.4. Sistema modular

El sistema modular, es el que consta de más de un módulo, de esta forma se obtienen desarrollos diferentes a partir de las mismas formas. En el ejemplo que se presenta a continuación, se tiene un sistema de dos módulos y a partir de éstos se desarrollan 5 propuestas distintas (ver figura 3.2.4).

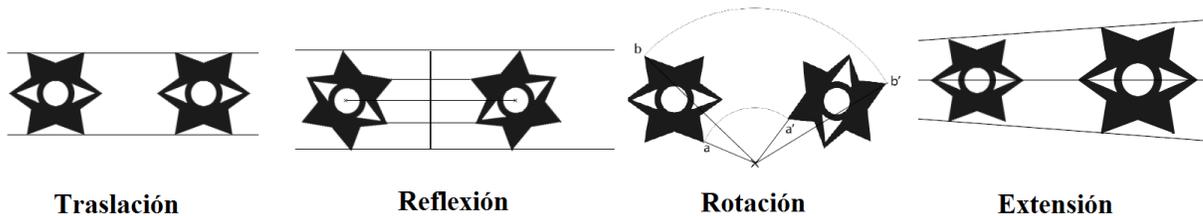


Figura 3.2.3: Murgia, V., 2008. Simetrías.

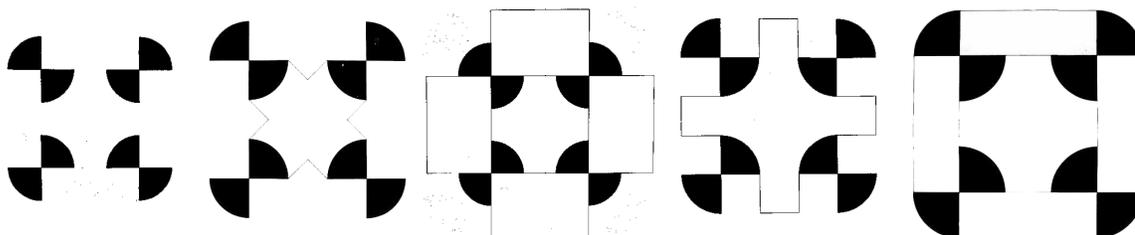


Figura 3.2.4: Munari, B., 1981. Sistema modular.

3.3. Redes

A las estructuras planas creadas por formas poligonales las llamamos redes. Las redes constan de dos componentes principales: nodos (unión de elementos) y elementos (líneas que unen los nodos), así éstas pueden ser geométricas (cuadradas, triangulares o compuestas) y orgánicas (formas irregulares, imitan las formas de la naturaleza).

Las redes tienen distintas funciones (ver esquema 3.3.1).

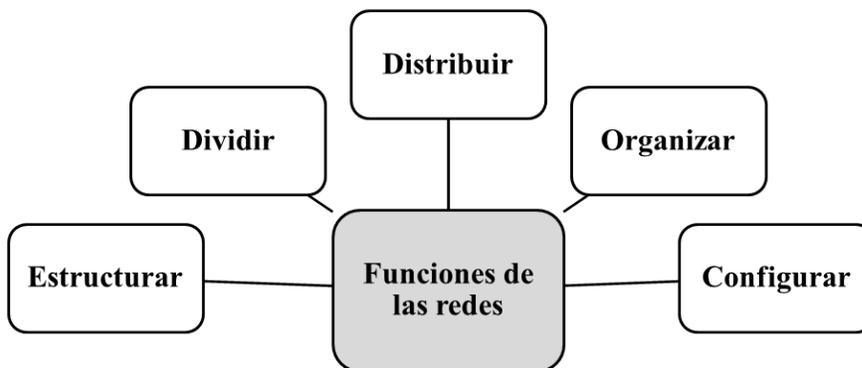


Figura 3.3.1: Vargas, M.A., 2013. Funciones de las redes.

3.3.1. Cuadradas

Se generan trazando dos sistemas de rectas paralelas equidistantes, intersecadas entre sí, su construcción puede realizarse con líneas verticales y horizontales, que cuando se colocan homogéneamente espaciadas, forman una retícula con subdivisiones cuadradas de la misma medida (ver figura 3.3.2).

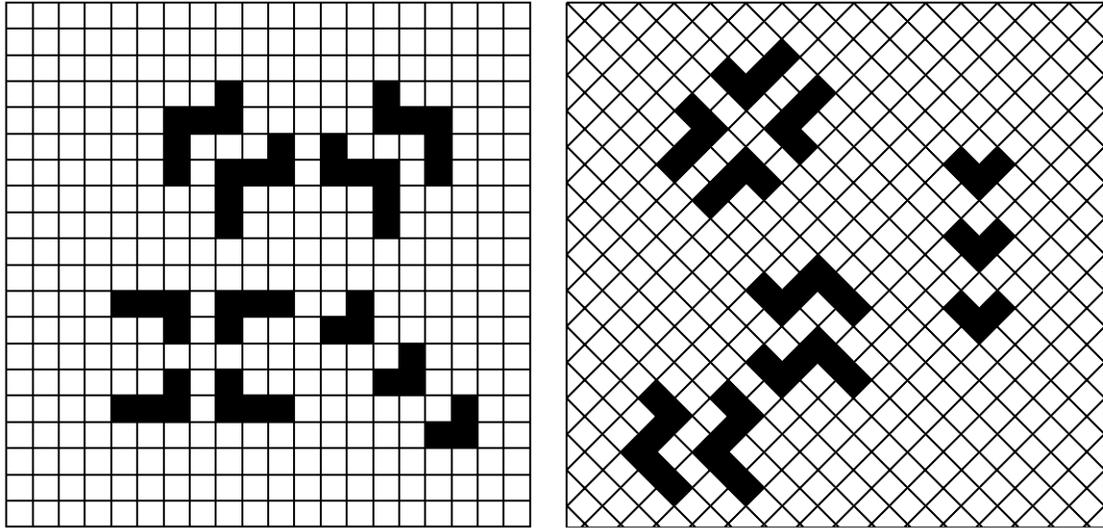


Figura 3.3.2: Rodríguez, S. 2014. Redes cuadradas.

Wucius Wong, menciona que dichas redes básicas o cuadradas, se pueden desarrollar de diferentes formas a partir cambios de proporción, dirección, deslizamiento, curvatura o quebramiento, reflexión, combinación y divisiones ulteriores (ver figura 3.3.3).

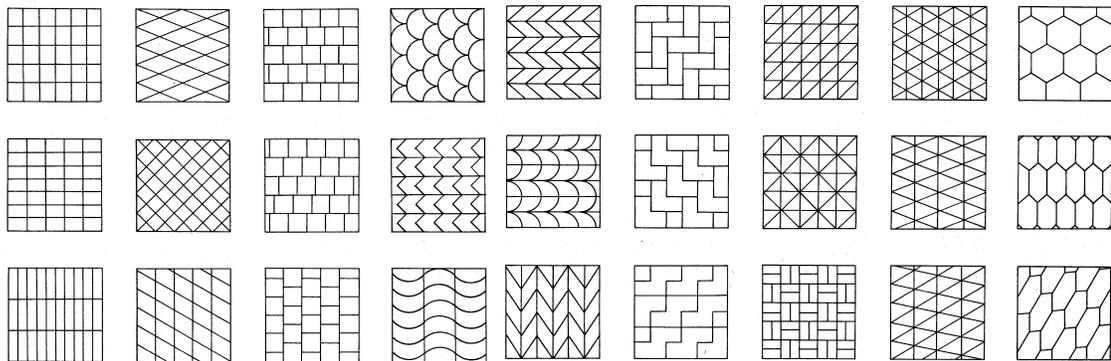


Figura 3.3.3: Wong, W. 1995. Variantes de redes básicas.

3.3.2. Triangulares

Se generan trazando tres sistemas de rectas paralelas de interlineado equidistante e inclinadas a 60° cruzadas entre sí, se pueden realizar vertical u horizontalmente (ver figura 3.3.4).

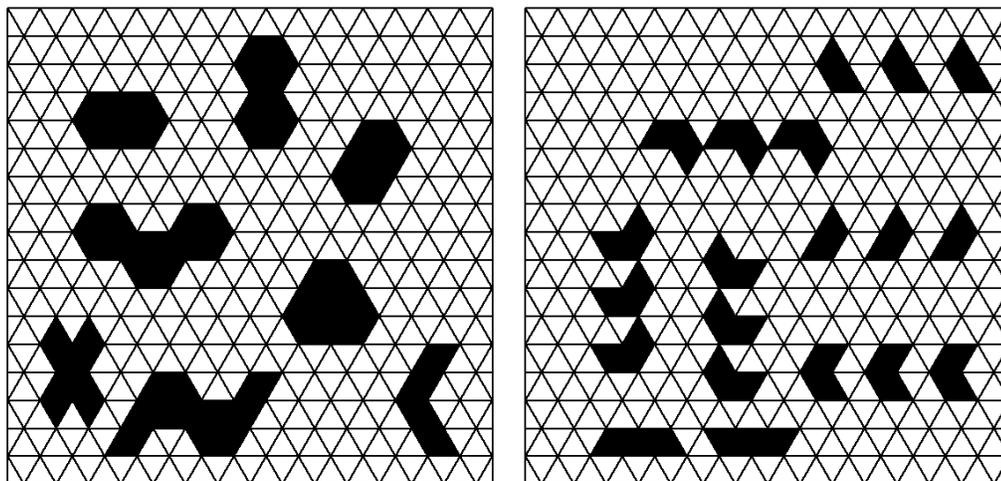


Figura 3.3.4: Rodríguez, S. 2014. Redes triangulares.

3.3.3. Compuestas

Se crean a partir de la partición del plano en dos o más tipos diferentes de polígonos regulares, así como otras más complicadas generadas por superposición de otras más simples (ver figura 3.3.5).

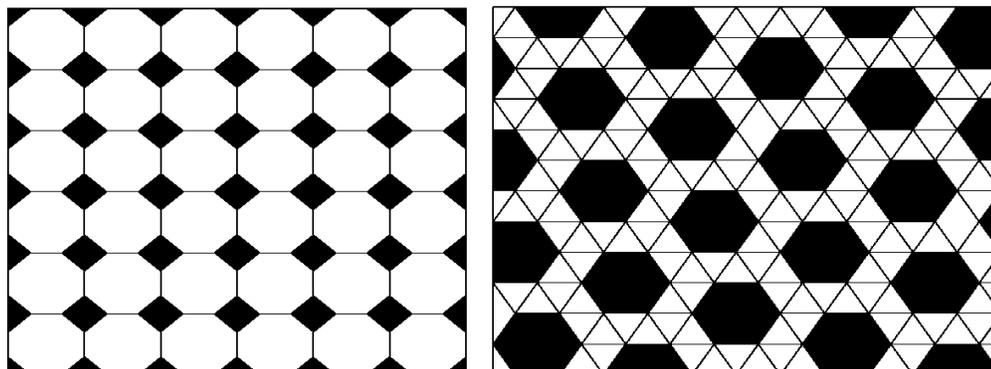


Figura 3.3.5: Rodríguez, S. 2014. Redes mixtas.

3.3.4. Orgánicas

Se generan imitando las formas de la naturaleza, exhiben concavidades y convexidades con curvas que fluyen suavemente (ver figura 3.3.6).

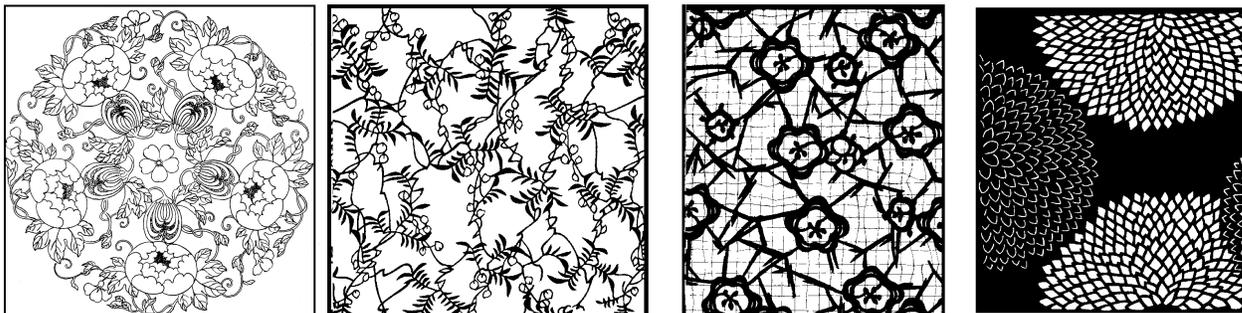


Figura 3.3.6: Rodríguez, S. 2014. Redes orgánicas.

3.3.5. Mixtas

Son una combinación de las redes geométricas y siguen patrones repetitivos, pero con variaciones simétricas; el ejemplo más tangible de este tipo de redes son las obras de Víctor Vasarely (ver figura 3.3.7).

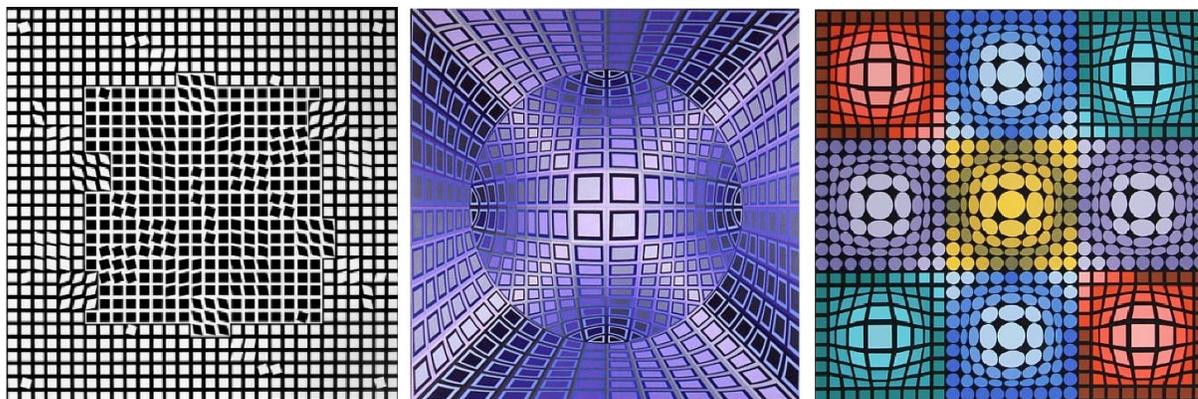


Figura 3.3.7: Vasarely, V., 1955-1997. Redes de Vasarely.

3.4. Modulación bidimensional

De acuerdo con Wucius Wong, el diseño bidimensional se caracteriza por elementos conceptuales, visuales y de relación (ver figura 3.4.1); estos elementos están limitados a trabajar con el plano X-Y y al combinarlos entre sí, generan diversas formas que permiten el desarrollo bidimensional de un diseño. Siendo su principal uso el de representación con la creación de formas con un amplio vocabulario visual.

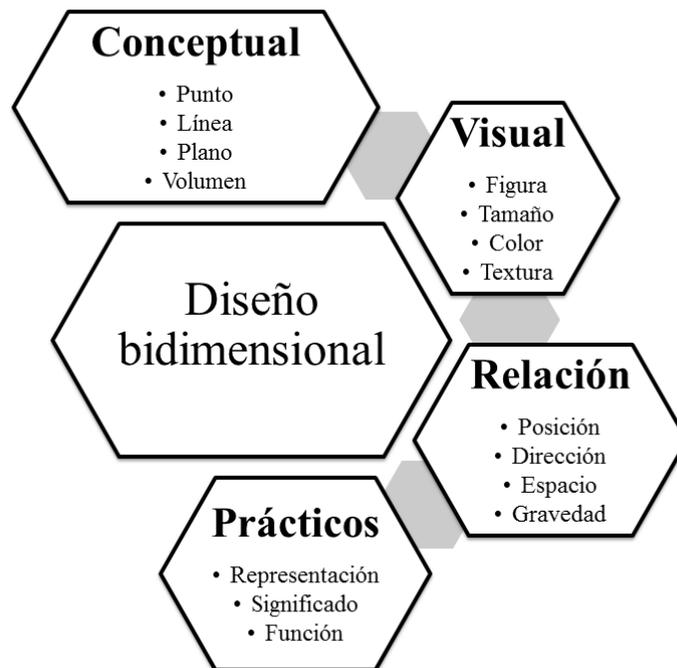


Figura 3.4.1: Basado en Wong, W., 1995. Modelos de las características del diseño Bi-dimensional.

3.5. Modulación tridimensional

3.5.1. El plano XYZ

Wucius Wong define el diseño tridimensional caracterizándolo por elementos conceptuales, visuales y de relación; estos elementos operan con el plano X-Y-Z (ver figura 3.5.1) y ello permite que las posibilidades de combinación de dichos elementos sean superiores a las del desarrollo bidimensional, por lo que el modelado tridimensional analiza el uso de materiales planos y lineales en la construcción de objetos reales con volumen.

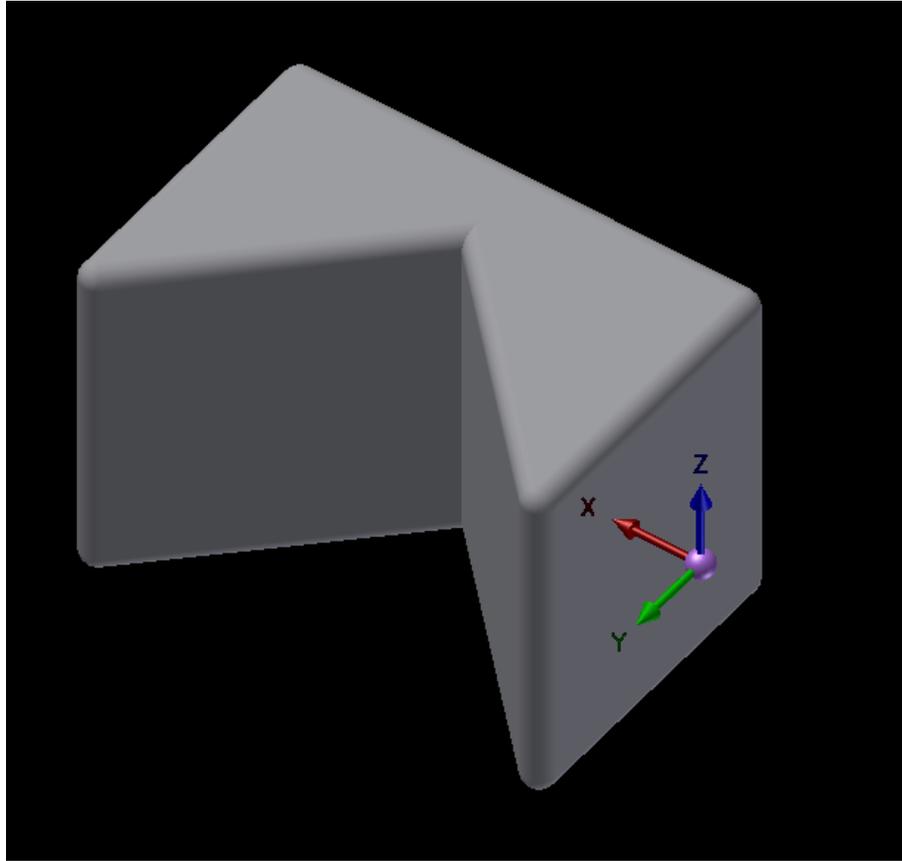


Figura 3.5.1: S.Rodríguez, 2014. Modelo tridimensional, plano XYZ.

3.5.2. Volumen

De acuerdo con Wucius Wong, la modulación tridimensional se da con las mismas características que la bidimensional y sus formas primarias surgen a partir de planos; dichos planos provenientes de redes bidimensionales que se visualizan implementando el eje Z, que es el que da volumen a las formas bidimensionales y las convierte en tridimensionales (ver figura 3.5.2).

3.5.3. Prismas

Así, en siguiente orden dentro de la modulación tridimensional, tenemos a los prismas regulares e irregulares y los cilindros; los cuales surgen a partir de una forma plana (ver figura 3.5.3).

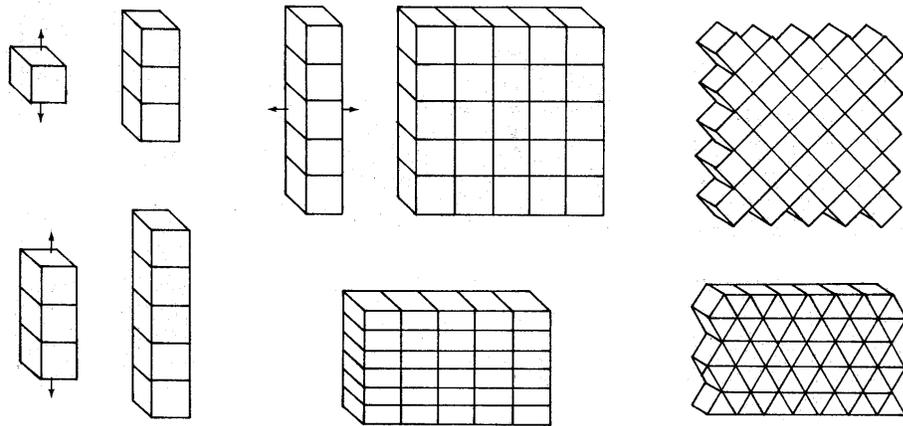


Figura 3.5.2: Wong, W., 1995. Estructuras bi dimensionales, convertidas en células espaciales.

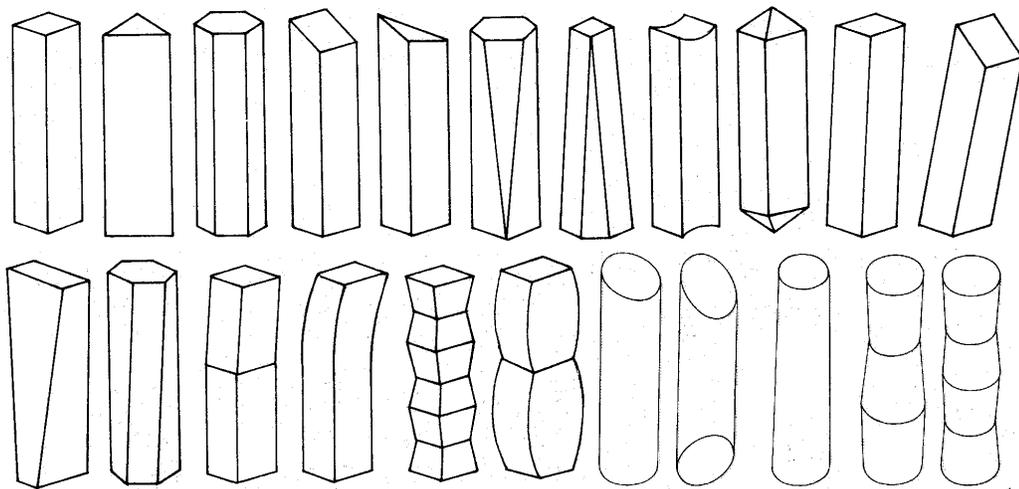


Figura 3.5.3: Wong, W., 1995. Prismas regulares e irregulares.

3.5.4. Estructuras poliédricas

En esta categoría tenemos a los sólidos platónicos, los cuales están constituidos por caras regulares, todas iguales y sus vértices son ángulos poliédricos regulares (ver figura y cuadro 3.5.4).

Y los sólidos arquimideanos que son poliedros irregulares constituidos de polígonos regulares y la diferencia entre éstos y los sólidos platónicos es que éstos se componen de más de un tipo de polígono regular.

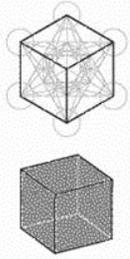
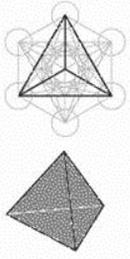
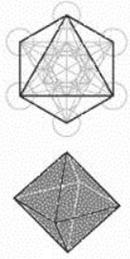
POLIEDRO					
	CUBO	TETRAEDRO	OCTAEDRO	DODECAEDRO	ICOSAEDRO
CARAS	6 cuadrados	4 triángulos equiláteros	8 triángulos equiláteros	12 pentágonos regulares	20 triángulos equiláteros
VÉRTICES	8	4	6	20	12
ARISTAS	12	6	12	30	30
ÁREA DE LA SUPERFICIE EXTERIOR	$6a^2$	$\sqrt{3}a^2$	$2\sqrt{3}a^2$	$3\sqrt{25+10\sqrt{5}}a^2$	$5\sqrt{3}a^2$
VOLUMEN	a^3	$\frac{\sqrt{2}}{12}a^3$	$\frac{\sqrt{2}}{3}a^3$	$\frac{\sqrt{15+7\sqrt{5}}}{4}a^3$	$\frac{5\sqrt{3+\sqrt{5}}}{12}a^3$

Figura 3.5.4: Quesada, C., 2006. Sólidos Platónicos

Reciben el nombre de Arquimides porque él los estudió y fue quien los encontró y clasificó. Existen exactamente 13 (ver figura 3.5.5⁸). Once de ellos se obtienen truncando sólidos platónicos. Los nombres que reciben están compuestos por el poliedro que es truncado y por el poliedro que lo trunca. Una propiedad muy importante de estos sólidos es que conservan el grupo de simetría del poliedro del que proceden.

3.5.5. Desarrollo

En el ejemplo de la figura 3.5.6, Wong muestra algunas variaciones que se dan entre dos círculos bidimensionales. De este primer ejemplo, se realizó un ejercicio que se muestra en la figura 3.5.7, en éste se desarrollan algunas de las mismas formas del plano bidimensional al modelado tridimensional.

Así, para desarrollar la modularidad se inicia de una forma bidimensional, se le da volumen y se logra su proyección tridimensional. Con repetición se obtiene el crecimiento modular.

⁸Sólidos Arquimideanos, imagen cortesía de <http://www.pedagoogia3000.info/web/boletin/Boletin09s2.htm>

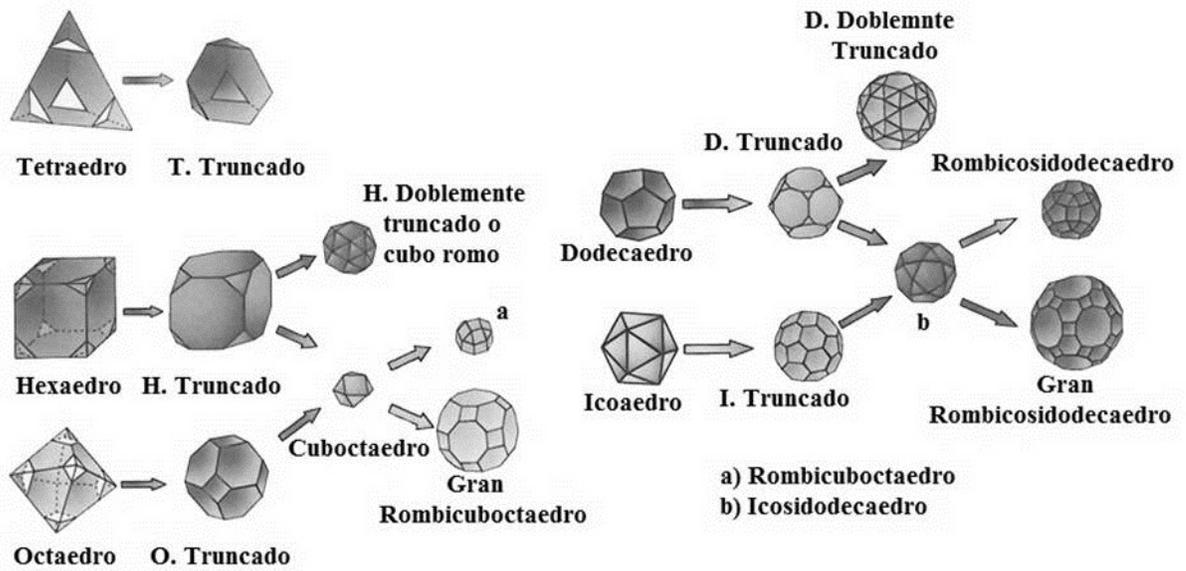


Figura 3.5.5: Sólidos Arquimideanos.

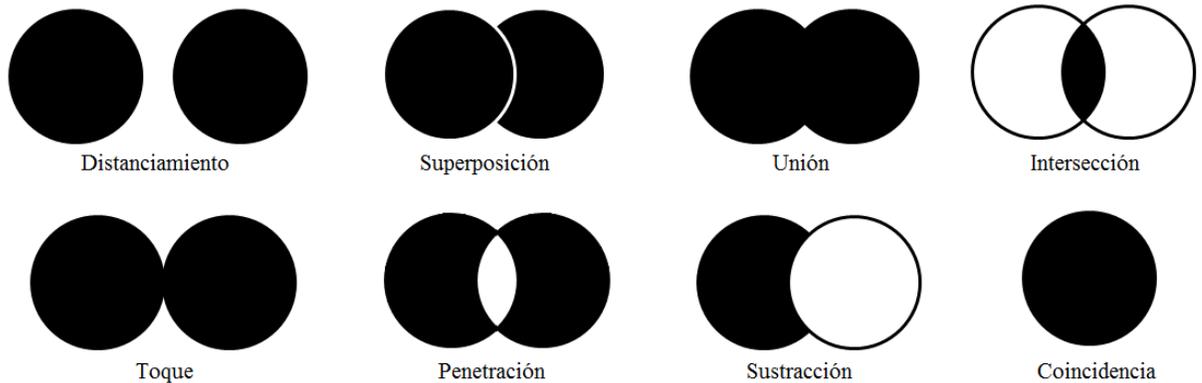


Figura 3.5.6: Wucius, W. 1995. Relación entre dos círculos.

3.6. Ensamble de módulos

Cuando hablamos de ensambles, forzosamente estamos hablando de objetos tridimensionales; la función básica del proceso de ensamble, es unir dos o más partes entre sí para formar un conjunto o subconjunto completo. Los ensambles pueden ser: no permanentes, semi permanentes o permanentes.⁹

⁹s.a., "Proceso de ensambles". p. 1-2.

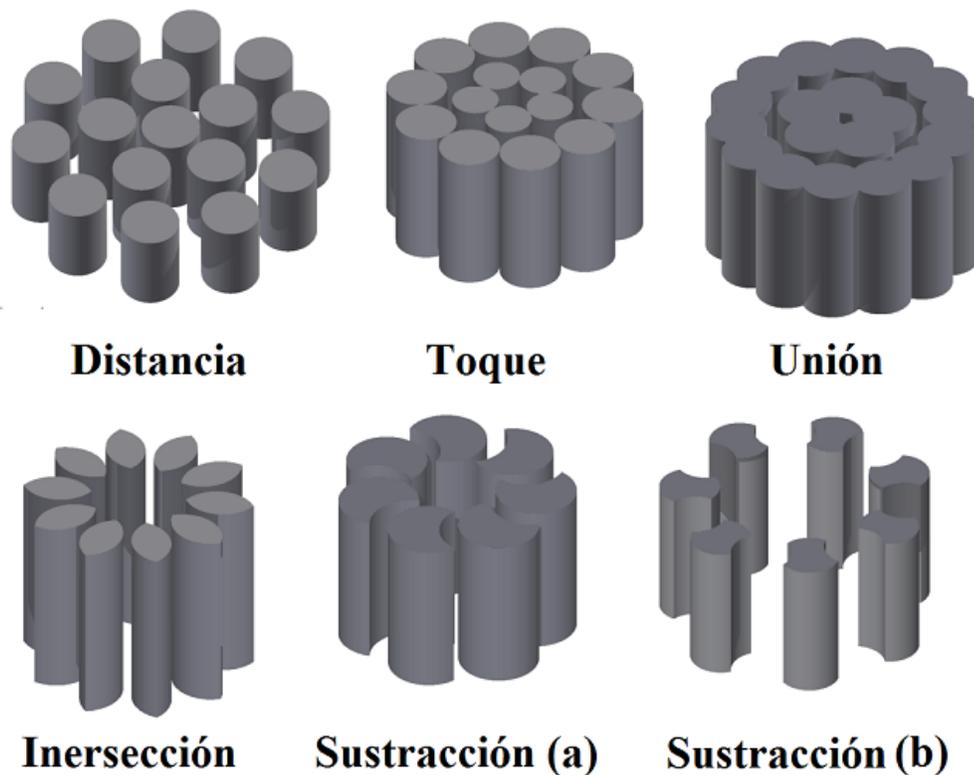


Figura 3.5.7: Rodríguez, S. 2014. Desarrollo modular en modelado tridimensional.

- Las uniones no permanentes o mecánicas, se pueden lograr por medio de tornillos, remaches, pasadores, cuñas, pernos u otros dispositivos que permitan deshacer el ensamble.
- Las uniones por ajuste a presión, se consideran semi permanentes; su estabilidad depende del material que se ensamble.
- Las uniones permanentes se realizan con adhesivos, calor, humedad u otro elemento que garantice la estabilidad de la unión. Cuando se realiza este tipo de ensambles, la estructura obtenida adquiere mayor o menor resistencia, dependiendo de la forma en que se logre con el ensamble.

3.6.1. Construcción modular

Según Pablo Pujadas, “*el principio de la construcción arquitectónica modular se desarrollo a lo largo del siglo XX principalmente en EEUU y Europa. El nacimiento de los sistemas constructivos ha estado siempre condicionado por diversas variables entre las que podemos destacar: viabilidad económica, tecnológica e inercias del sector de la construcción*”.¹⁰

¹⁰Pujadas, Pablo, “Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno”. p.6.

Se entiende por construcción modular, al procedimiento constructivo en el cual la unidad estructural fundamental del mismo se repite de una manera regular a lo largo de todo el proyecto. Los módulos pueden ser elementos de distinta naturaleza y geometría pero suelen ser elementos de geometría rectangular como placas, paneles y losas.

El proyectista ha de considerar frente a cada proyecto las posibilidades, restricciones y ventajas de la construcción modular (los aspectos asociados a la fabricación, transporte, elevación, entre otros) antes de diseñar en construcción modular, lo que conlleva una buena organización del equipo que proyecta con una concepción global e integrada de todo el proceso.

Un buen diseño debe contemplar detalles lo más sencillos posibles ya que una de las principales ventajas de la construcción modular es inherente a la simplicidad de los detalles y montaje. La rapidez de ejecución de una obra que es tradicionalmente una ventaja en los sistemas de construcción modulares, se pierde si los detalles constructivos son complejos o no están bien definidos y, particularmente aquellos que se refieren a las uniones entre módulos. Asimismo en estas uniones reside, en gran medida, la posible respuesta de la estructura.

La base para una buena modulación es establecer una malla adecuada, donde el edificio se posiciona respecto a los ejes principales de la misma. Las distancias de modulación suelen ser también iguales. Ello simplifica el número de componentes diferentes a producir y los detalles constructivos, con lo que todo el proceso se muestra mucho más eficiente. También se suelen definir dos tipos de mallas, una principal para elementos estructurales y otra secundaria para los elementos no estructurales, de este modo una planta cualquiera de un edificio tendría el aspecto esquematizado en la figura 3.6.1.

La construcción modular presenta, en general, mayores requisitos que una obra convencional. Ello se basa en el control de calidad que puede establecerse en la fabricación y producción en serie de los elementos modulares. Este concepto influye favorablemente en varios factores principales como son: resistencia, rigidez, durabilidad y estética (ver figura 3.6.2).

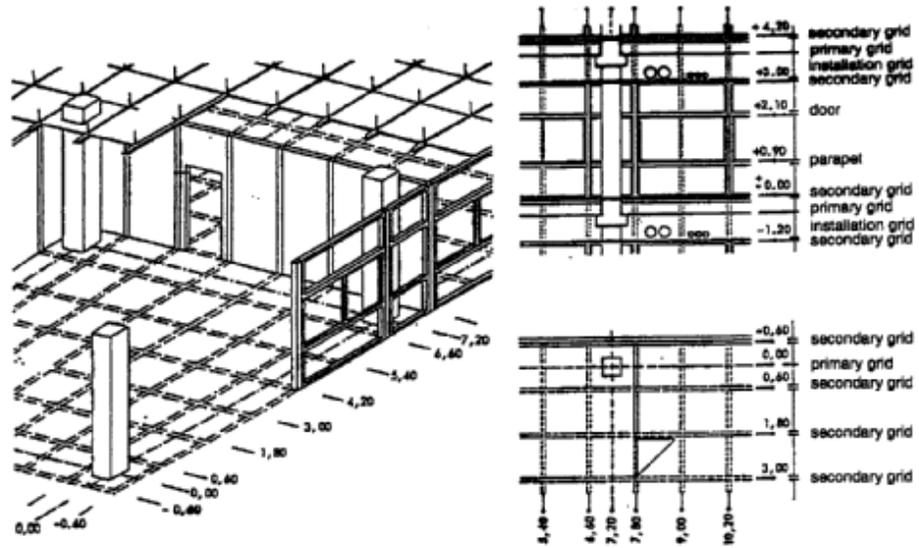


Figura 3.6.1: Vambersky et al., 2002. Construcción modular. Esquema de modulación en una planta.

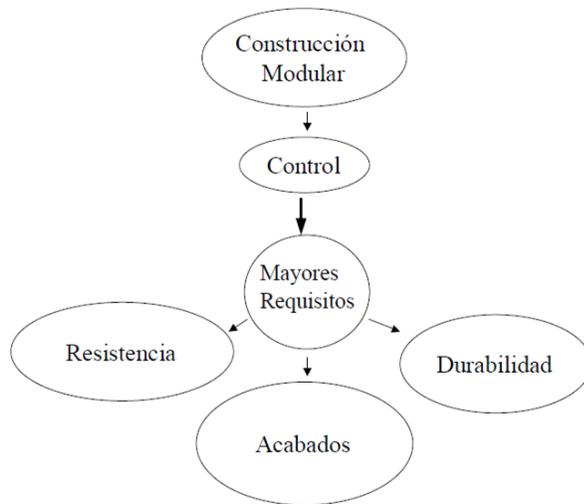


Figura 3.6.2: Pujadas, A., 2003. Esquema de construcción modular.

Capítulo 4

La cerámica

4.1. Generalidades

4.1.1. La Cerámica

De acuerdo con la Real Academia Española, la cerámica (palabra derivada del griego *keramikos*, "sustancia quemada"):

*Es el arte de fabricar recipientes, vasijas y otros objetos de arcilla, u otro material cerámico y por acción del calor transformarlos en recipientes de terracota, loza o porcelana. También es el nombre de estos objetos.*¹

El término se aplica de una forma tan amplia que ha perdido buena parte de su significado. No sólo se aplica a las industrias de silicatos (grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre), sino también a artículos y recubrimientos aglutinados por medio del calor, con suficiente temperatura como para dar lugar al sinterizado. Este campo se está ampliando nuevamente incluyendo en él a cementos y esmaltes sobre metal.

Según la British Ceramic Society (1979), *una cerámica es un material sintético, sólido, que no es ni metálico ni orgánico y en cuya elaboración es necesario utilizar tratamientos térmicos a altas temperaturas*. Kingery la define como *el arte y la ciencia de fabricar y usar materiales sólidos, que están compuestos en su mayor parte (componente esencial) por materiales no metálicos*.²

¹Recuperado 01/10/14 de <http://lema.rae.es/drae/>

²Derek, Roger. "Materiales cerámicos". p. 15.

Y la definición más ampliamente aceptada es que son aquellos productos (piezas, componentes, dispositivos, etc.) constituidos por compuestos inorgánicos, no metálicos, cuya característica fundamental es que son constituidos mediante tratamientos térmicos a altas temperaturas.

4.1.2. Tipos de cerámica

La cerámica se puede clasificar en dos grandes grupos: la cerámica tradicional y la cerámica avanzada o de uso específico. Las principales diferencias entre estos dos grandes grupos de cerámica, son su densidad, tamaño de partículas y resistencia a la fractura -MPa³- (ver figura 4.1.1).

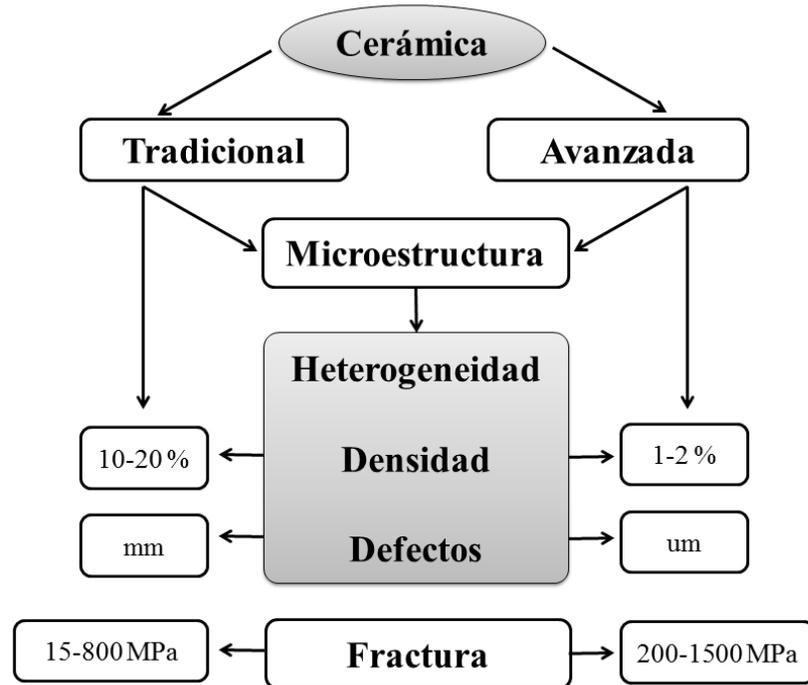


Figura 4.1.1: Derek & Rogers, 1984. Diferencia entre cerámicas.

La cerámica tradicional es la que está formulada por mezclas de arcilla, sílice y feldespato (ver figura 4.1.2).

Algunos tipos de cerámica son los siguientes:

³MPa: El pascal es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma. Fuente: www.convertworld.com/es/presion/Pascal.html

Arcilla: En el diccionario, una de las definiciones que encontramos de arcilla es "sustancia mineral plástica compuesta principalmente de silicatos hidratados de alúmina". Se pueden clasificar por su hallazgo en su estado natural, por su plasticidad, por su porosidad, por su color y por su punto de fusión. Las distintas arcillas se formaron primero a partir de la descomposición de las formaciones rocosas y por la acción de distintos factores, presión tectónica, movimientos sísmicos, distintos tipos de erosión, etc., y segundo por la adquisición, durante el viaje hasta su lugar de sedimentación, de diferentes impurezas de origen mineral; por lo tanto, dependiendo de las características de la roca de origen, existen innumerables tipos de arcillas, cada una de las cuales posee unas propiedades particulares.

Entre sus componentes básicos debemos destacar las materias plásticas como el caolín y la arcilla y los no plásticos o anti plásticos como el cuarzo, la arena o la pegmatita, que juegan un papel fundamental en el proceso de transformación de los materiales dentro del horno, actuando como fundentes.

Gres: es una cerámica hecha con arcilla blanca o roja. Se esmalta sobre el soporte crudo antes de entrar en el horno o mediante el procedimiento de "salado" durante la cocción, que produce un material denso y duro. La fusión de este tipo de arcilla, es debida a la circunstancia de que los componentes más ligeros de la arcilla (feldespato y creta), al ser sometidos a altas temperaturas se funden y rodean a los componentes refractarios de punto de fusión más alto. Las arcillas de gres son refractarias o semi refractarias, aunque contienen suficiente fundente para formar una pasta densa y bastante resistente, al cocerse a temperaturas relativamente bajas (algunas a tan sólo 1100°C).

Loza: tiene una masa blanca o casi blanca. Se produce por bicocción, como la porcelana de China, pero la masa resultante es porosa. El esmalte es similar al de la porcelana, pero obtenido con materiales más baratos. Alrededor del mundo, existen infinidad de tipos de esta arcilla, aunque en pocos casos el material, tal y como se encuentra en la naturaleza, será plenamente satisfactorio, por lo que será necesario tratarlas. Para variar el grado de fusión y plasticidad se le añade feldespato y arcilla de bola. Para las pastas de loza es necesaria la presencia de la cal. La loza fina de pasta blanca, es la mezcla de una arcilla refractaria de sílex calcinado y de carbonato de cal, a los que se les añade potasa y sosa.

Porcelana: es un material cerámico blanco, vitrificado y translúcido; el soporte y el esmalte se llevan a maduración final en una única cocción conjunta para ambos (mono-cocción), que tiene lugar a temperatura muy elevada; todas las cerámicas a base de caolín, feldespato y cuarzo que, tras la cocción, aparece un color blanco, un tacto sonoro y un aspecto vitrificado, son las llamadas porcelanas.

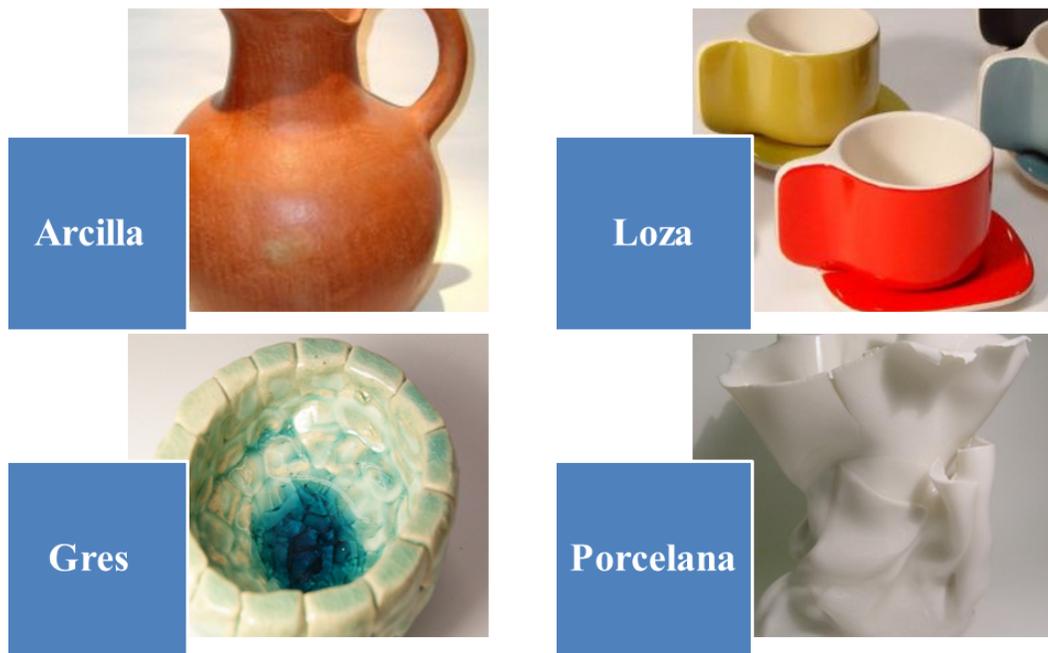


Figura 4.1.2: Rodríguez, S. 2014. Cerámica tradicional.

La cerámica avanzada puede contener además de los componentes de la cerámica tradicional, carburo de silicio, nitruro de silicio y algunos óxidos metálicos. Para su fabricación se usan materias primas de alta pureza (99.99%), con composición química y propiedades morfológicas controladas, granulometría submicrónica (menor de una micra); el proceso está sujeto a un control preciso, tanto en el conformado como en la cocción; los productos tienen una microestructura bien controlada que asegura su alta viabilidad o respuesta a la utilización para la cual ha sido diseñada (ver figura 4.1.3).

4.1.3. Clasificación de la cerámica

La clasificación más sencilla de los materiales cerámicos se da a partir de su temperatura de cocción, como se presenta a continuación (ver figura 4.1.4) :

De ALTA FUSIÓN (1280-1390 °C). Son propias de la industria, y se utilizan para la confección de dientes artificiales prefabricados para las prótesis removibles. Suelen tener importantes cambios dimensionales.

De MEDIA FUSIÓN (1090-1260 °C): Propias del laboratorio junto con las de baja y muy baja fusión, éstas son empleadas para realizar las coronas Jacket sobre lámina de platino.

De BAJA FUSIÓN (870-1065 °C): Destinadas a las técnicas de recubrimiento estético del

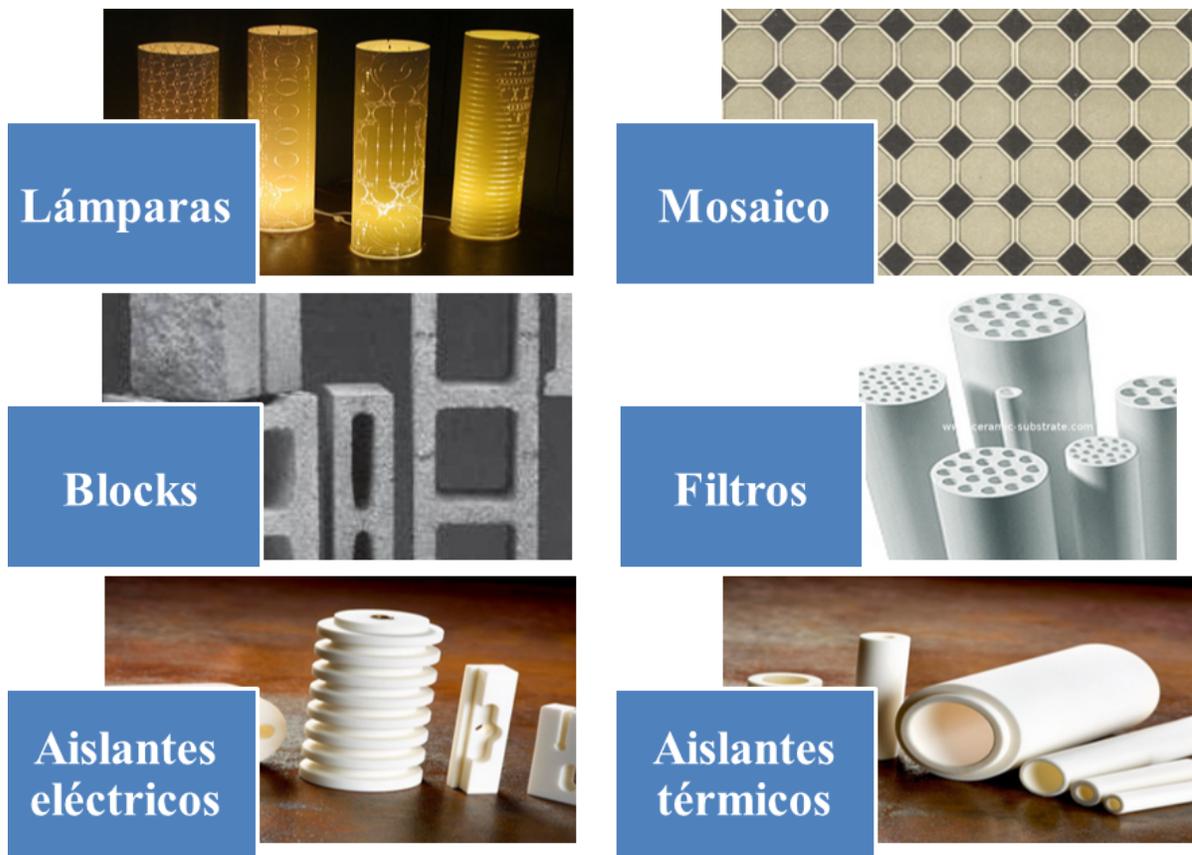


Figura 4.1.3: Rodríguez, S. 2014. Cerámica avanzada.

metal en las coronas y puentes de metal-cerámica. En las técnicas ceramometálicas, es muy importante que los rangos de fusión de la cerámica y el metal estén alejados, para evitar la deformación del metal subyacente. Son las más empleadas.

De MUY BAJA FUSIÓN (660-780 °C): Utilizadas en la técnica de metal-cerámica como recubrimiento de aleaciones de titanio u oro de baja fusión. Solas permiten la confección de joyas de cerámica. Las razones por las que se aconseja utilizar temperaturas cada vez más bajas son, disminuir los cambios dimensionales térmicos, adecuación a la aparición de nuevos materiales (titanio), usar porcelanas de baja fusión para el glaseado, y el ahorro energético.

De TEMPERATURA AMBIENTE: Son cerámicas que se transforman o “procesan” en clínica a temperatura ambiente, o ya vienen listas para usar. Durante el proceso industrial requieren ser tratadas con calor, pero no pasan por las manos del técnico de laboratorio y es el clínico quien las adapta, coloca y retoca sin que la porcelana sea transformada (sistemas CAD-CAM cerámicos).

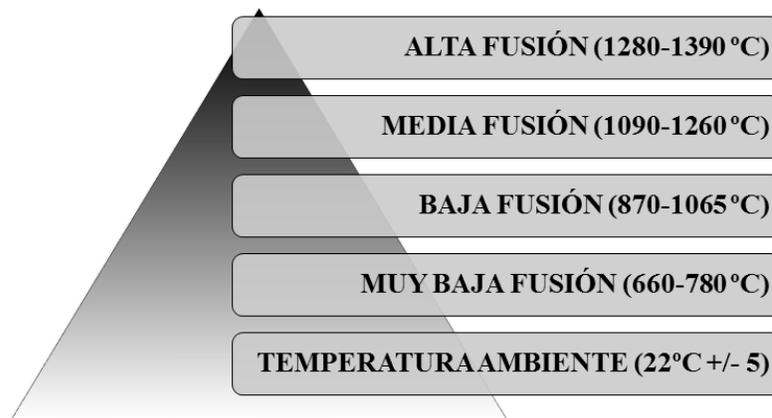


Figura 4.1.4: Rodríguez, S., 2014. Clasificación de la cerámica por temperatura de cocción.

4.1.4. Producción de cerámica

Las operaciones básicas para la producción de cerámica son: preparación del cuerpo cerámico, conformación o modelado, secado y cocción (ver figura 4.1.5).

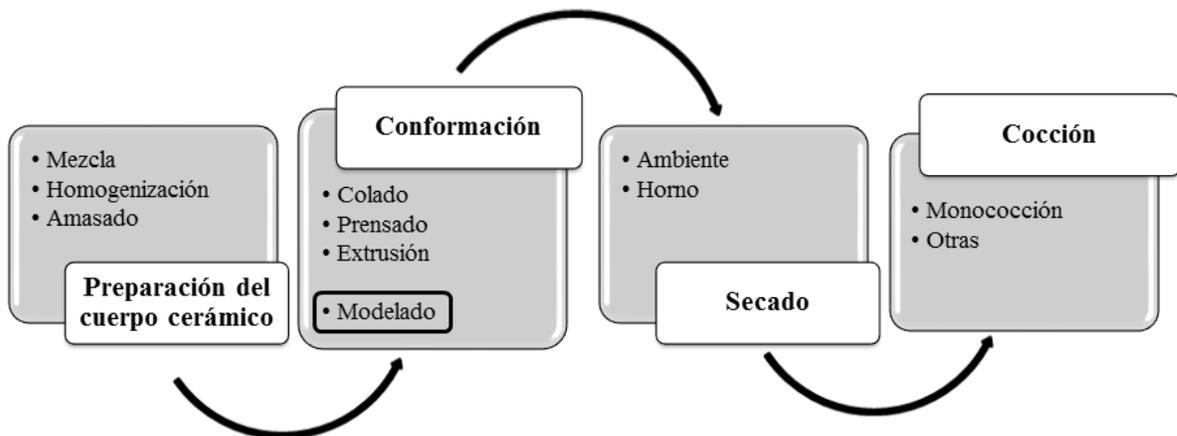


Figura 4.1.5: Rodríguez, S. 2014. Proceso general de la cerámica.

Las propiedades físicas de la cerámica dependen de la **composición** de la pasta y de las condiciones de **cocción** de la misma. La pasta para cualquier uso se selecciona principalmente por sus propiedades físicas.

La composición de la pasta es determinada en gran medida por las propiedades requeridas del producto final y parcialmente por el método de producción.

Así por ejemplo, una base plástica es esencial para objetos moldeados en húmedo, pero para los procesos de formación no plástica, como el prensado en polvo (seco), la base plástica no es esencial, aunque la arcilla continúa siendo el principal ingrediente en la mayor parte de los productos cerámicos, incluso en aquellos que se preparan por prensado en polvo. En la cocción los fundentes se derriten y forman una masa vítrea que aglutina el resto de los ingredientes; la temperatura de vitrificación desciende a medida que aumenta la cantidad de fundentes. Los materiales agregados como carga a las pastas, influyen en la resistencia mecánica de la fracción arcillosa antes y durante la cocción.

La producción cerámica se puede beneficiar del CAD CAM en su etapa de conformación, así se pueden generar modelos por medio de CAD y producir con CAM, la ventaja de modelar de esta forma radica en la versatilidad que un sistema CAD brinda, de esta forma también es aplicable el modelado paramétrico. El proceso de CAM, es mucho más sencillo porque se consiste en conocer las limitaciones, en este caso, de la impresora 3D o el equipo de CNC que permite generar un modelo con dimensiones precisas; por otro lado el sistema CAD permite visualizar el modelo con materiales y simular su comportamiento previamente a su producción.

4.1.5. Materiales cerámicos

Los materiales cerámicos son sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Comparados con los metales y plásticos son duros, no combustibles y no oxidables. Pueden utilizarse en ambientes con temperatura alta, corrosivos y biológicos. En dichos ambientes muchas cerámicas exhiben buenas propiedades electromagnéticas, ópticas y mecánicas.

De acuerdo con Emilio Galán y Silvia Aparicio⁴, la elección de una materia prima depende principalmente de dos factores: el producto que se desea y su disponibilidad (ver figura 4.1.6). La materia prima condiciona las características de la pasta y mediante el proceso de fabricación elegido se obtiene un producto con unas propiedades determinadas, que permitirán usos demandados por el mercado.

⁴Emilio Galán & Silvia Aparicio, “Materias primas para la industria cerámica”, p.37.

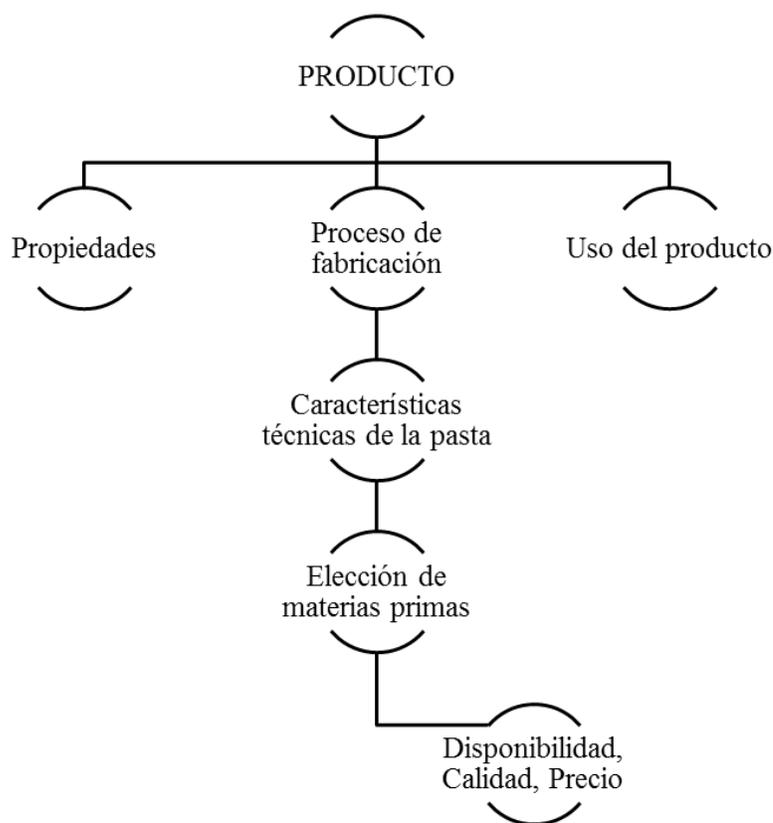


Figura 4.1.6: Galán & Aparicio, 2006. Criterios para la elección de la materia prima cerámica.

4.2. Propiedades físicas

De acuerdo con Javier Alarcón, *las propiedades de los materiales cerámicos son determinadas en cuatro niveles: atómico, ordenación de átomos (cristalino o amorfo), microestructura y macroestructura.*⁵

4.2.1. Eléctricas

Son en su mayoría aislantes eléctricos debido a que tienen una alta resistencia eléctrica. Algunos de ellos presentan otras propiedades dieléctricas⁶ como es la facilidad de polarizarse.

⁵Alarcón, Javier “*Química de materiales cerámicos*”. p. 2-3.

⁶Dieléctrico(a): dicho de un material que es poco conductor y a través del cual se ejerce la inducción eléctrica. Fuente: <http://lema.rae.es/drae/>

4.2.2. Magnéticas

No suelen presentar propiedades magnéticas, sin embargo podemos encontrar cerámicas con propiedades magnéticas de gran importancia como ferritas y granates. Éstas son las llamadas cerámicas ferromagnéticas. En estas cerámicas los diferentes iones tienen momentos magnéticos distintos, esto conduce a que al aplicar un campo magnético se produzca como resultado una imantación neta.

4.2.3. Mecánicas

Son duros y frágiles a temperatura ambiente debido a su enlace iónico/covalente (al aplicarles una fuerza los iones de igual carga quedan enfrentados provocando la rotura del enlace), este hecho supone una gran limitación en su número de aplicaciones. Esta fragilidad se intensifica por la presencia de imperfecciones. Son deformables a elevadas temperaturas ya que a esas temperaturas se permite el deslizamiento de bordes de grano.

4.2.4. Térmicas

La mayoría de los materiales cerámicos tienen bajas conductividades térmicas debido a sus fuertes enlaces iónico/covalentes. La diferencia de energía entre la banda de covalencia y la banda de conducción en estos materiales es demasiado grande como para que se exciten muchos electrones hacia la banda de conducción, por esto son buenos aislantes térmicos. Debido a su alta resistencia al calor son usados como refractarios y estos son utilizados en las industrias metalúrgicas, químicas cerámicas y del vidrio.

4.3. Características

Los productos cerámicos presentan múltiples cualidades, a consecuencia de que su naturaleza es mineral y en el proceso de conformación éstos son sometidos a ignición y ello potencializa sus propiedades, independientemente de que éstas se pueden modificar al momento de configurar el cuerpo cerámico. Se pueden enumerar infinidad de estas cualidades, sin embargo, nos limitaremos a mencionar las más representativas en materia de generación de objetos de diseño industrial.

4.3.1. Plasticidad

Es la capacidad de un material de mantener una deformación permanente o no recuperable después de aplicar una carga. En los materiales cerámicos esta propiedad ocurre cuando el producto aún contiene agua, sin el agua es imposible que las partículas se desplacen, lo que no permitiría darle forma, pues sería sólo arena seca. En consecuencia, mientras más pequeña sea la partícula de arcilla y más agua contenga, más plástica resulta, pero pierde casi toda la plasticidad cuando la arcilla es saturada con agua, transformándose en una barbotina.

4.3.2. Fragilidad

Cuando en el proceso de fractura, es decir de separación de un cuerpo en dos o más piezas, es la respuesta a una tensión aplicada estática sobre un cuerpo, se da poca o ninguna deformación plástica en el material antes de romperse, esto quiere decir que el material es quebradizo o frágil. Los productos cerámicos presentan esta característica, sin embargo, esto se da solo en parte de los productos cerámicos, puesto que los materiales tradicionales como la porcelana y los avanzados, por su composición presentan otro comportamiento frente al impacto.

4.3.3. Dureza

Los productos cerámicos presentan resistencia a ser rayados, por ello son de gran demanda para la fabricación de loza.

4.3.4. Densidad

La densidad en estos materiales es regularmente baja, por lo que los productos cerámicos son de bajo peso.

4.3.5. Rigidez

Por tener un elevado punto de fusión, los materiales cerámicos presentan esta cualidad, por ello se recomiendan para objetos en los que sea importante mantener sus dimensiones.

4.3.6. Resistencia al desgaste

El factor que es determinante en esta cualidad de los materiales cerámicos, es el acabado que se aplique a éstos, así por ejemplo los productos de barro que no presentan acabado o esmalte, no presentan esta resistencia; sin embargo, los productos que presentan acabados vidriados, como los muebles sanitarios, presentan una excelente resistencia al desgaste.

4.3.7. Resistencia la ataque químico

Por su resistencia a la corrosión y a la oxidación, se dice que los materiales cerámicos presentan resistencia al ataque químico, esto se da por su naturaleza no metálica y no ser porosos. Esta cualidad es ampliamente aprovechada por la industria de instrumental de laboratorio.

4.3.8. Baja conductividad térmica y eléctrica

Estas cualidades permiten generar con materiales cerámicos gran variedad de productos aislantes, tanto térmicos como eléctricos.

4.4. Técnicas para la producción de objetos cerámicos

4.4.1. Vaciado

En el procedimiento de vaciado, las materias primas se dosifican, trituran en húmedo y vacían en forma de pasta fluida o barbotina dentro de moldes de yeso. En el vaciado a presión, la barbotina se moldea bajo presión en máquinas para transformarse en la pieza bruta. Con este procedimiento se producen productos como: porcelana, sanitarios, electroporcelana y refractarios (ver figura 4.4.1).

4.4.2. Prensado

Este proceso se puede dar de dos formas: húmedo o seco.

El prensado de materiales en estado húmedo se da más comúnmente en la producción de ladrillos; en este proceso es importante controlar la humedad del material y el tamaño de partículas, dicha humedad dependiendo del equipo puede ser desde un 1 hasta un 30%.

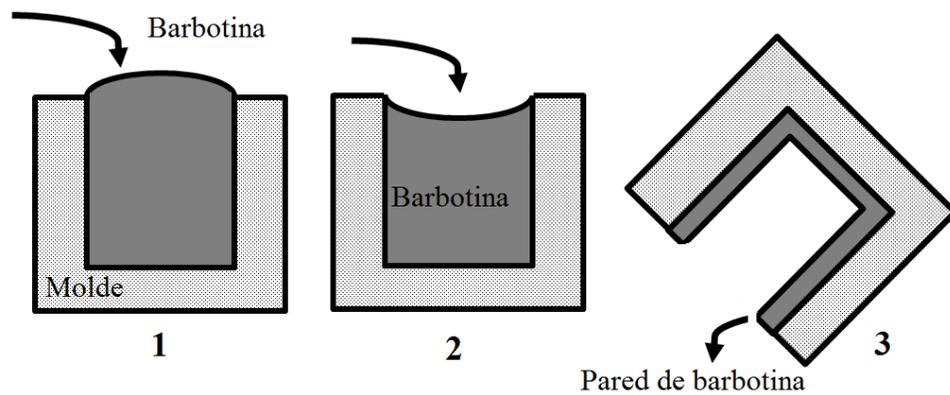


Figura 4.4.1: Rodríguez, S. 2014. Proceso de modelado en baja presión o vaciado.

La compactación isométrica o el proceso de prensado del material cerámico en polvo, consiste en cargar en un recipiente flexible (generalmente de caucho) hermético (llamado cartucho) que está adentro de una cámara de fluido hidráulico que se aplica presión. En el procedimiento de prensado en seco en cerámica fina, las materias primas se suelen preparar en húmedo y a continuación secar en la torre de pulverización hasta una humedad residual del 5 - 7%. En la industria de materiales refractarios, las materias primas se mezclan en seco y frecuentemente se elaboran con humedades de prensado $< 2\%$, utilizándose también para ello aglomerantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de los productos que se fabrican con este proceso son: refractarios, azulejos y baldosas, loza, baldosas de gres, cerámica técnica y cuerpos abrasivos. (ver figura 4.4.2)

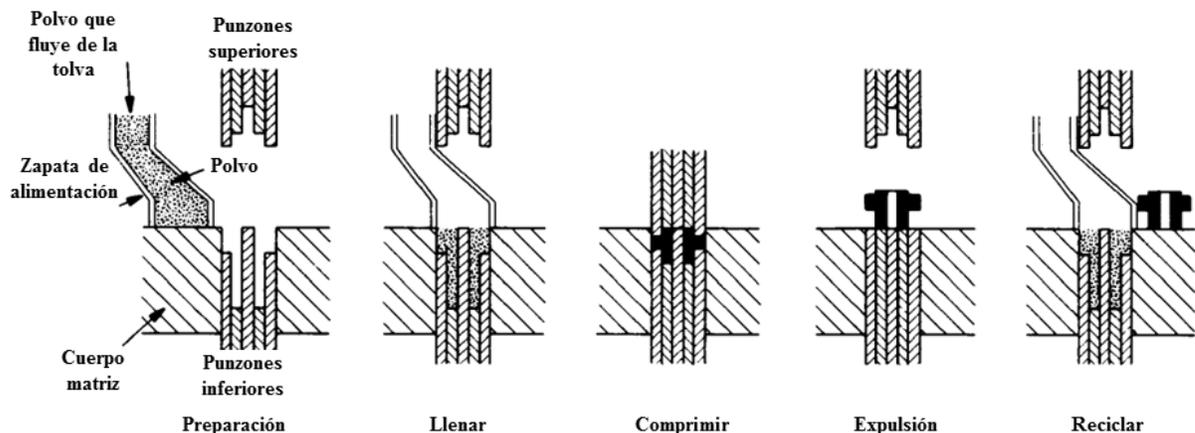


Figura 4.4.2: Blanco, F., 2008. Proceso de conformado por prensado.

4.4.3. Plástico

En la realización de la obra de arte intervienen cuatro aspectos: el o los materiales usados, la forma, el instrumental (técnica empleada) y el concepto. En el procedimiento plástico las materias primas se preparan generalmente en húmedo, se mezclan y se modelan plásticamente con contenidos de humedad del 15 - 20% de agua. Ejemplo de los productos que se realizan con esta técnica son: ladrillos, tejas, baldosas hendidas, electroporcelana, loza, productos de alfarería y escultura, entre otros. Sin embargo estas técnicas son meramente artesanales (ver figura 4.4.3).



Figura 4.4.3: Rodríguez, S. 2013. Modelado artístico o plástico.

4.4.4. Extrusión

Esta técnica de conformado se emplea en la fabricación de productos cerámicos de sección constante. El proceso de extrusión tradicional consiste en forzar el paso, mediante la aplicación de una presión, de la pasta con una consistencia plástica (elevada viscosidad) a través de una matriz (ver figura 4.4.4).

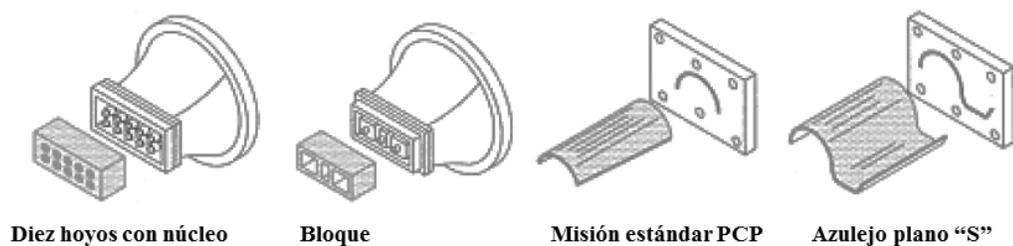


Figura 4.4.4: Blanco, F., 2008. Diversas boquillas de extrusión.

4.4.5. Extrusión CNC

Eran Gal-Or⁷, un estudiante de diseño industrial del instituto de HIT en Holon, Israel; construyó una impresora 3D que imprime materiales cerámicos, como porcelana, arcilla y gres, es una impresora de mediano formato (80x80x80 cm), imprime en una forma continua utilizando un sistema de alimentación que se desarrolló con una bomba comercial y un extrusor de tipo émbolo de llenado (ver figura 4.4.5). Debido a que los productos de este tipo de impresión son realizados en materiales reales, no son considerados prototipos, sino productos intermedios en la generación de objetos cerámicos, esto quiere decir que con esta impresora se puede hacer producción directa.



Figura 4.4.5: Gal Or, E. 2012. Extrusora.

4.4.6. Impresión 3D

Por medio de un proyecto de intercambio entre la Universidad del Oeste de Inglaterra y la firma Denby Alfarería (DA), el profesor Stephen Hoskins⁸ y su equipo, han desarrollado nuevos métodos de creación de cerámica, utilizando la tecnología de impresión 3D, han trabajado para probar diseños de la firma DA y desarrollado modelos de prototipos CAD (programa Rhinoceros) en cerámica. A través de este método, la cerámica se construye capa por capa con polvo de cerámica (ahora ya patentado); de esta manera los modelos cerámicos altamente complejos se pueden crear con este método no convencional, pero que habrían sido imposibles de lograr con métodos tradicionales.

Esto ha abierto un potencial comercial a través de los procesos de fabricación más rápidos y nuevas opciones de diseño de productos cerámicos (ver figura 4.4.6).

⁷Fuente: <http://diy3dprinting.blogspot.mx/2013/11/large-3d-porcelain-printer-by-eran-gal.html>

⁸Hoskins, Stephen. "Solid free-form fabrication in fired ceramic as a design aid for concept modelling in the ceramic industry". p. 3.



Figura 4.4.6: Hoskins, S. 2012. Objeto cerámico modelado con impresión 3D en cerámica.

4.5. Cualidades estéticas de los productos cerámicos

La RAE, define lo estético bajo las siguientes definiciones: (1) Perteneciente o relativo a la estética; (2) perteneciente o relativo a la percepción o apreciación de la belleza; (3) placer estético; (4) artístico, de aspecto bello y elegante; (5) ciencia que trata de la belleza y de la teoría fundamental y filosófica del arte; (6) conjunto de elementos estadísticos y temáticos que caracterizan a un determinado autor o movimiento artístico; (7) armonía y apariencia agradable a la vista, que tiene alguien o algo desde el punto de vista de la belleza; (8) conjunto de técnicas y tratamientos utilizados para el embellecimiento del cuerpo.

Por lo anterior, podemos definir las cualidades estéticas como aquellas que hacen valioso un objeto por su apariencia, en particular una obra de arte. Estas cualidades hacen referencia al aspecto exterior o apariencia del objeto (la estética, del griego *aisthetikós* significa "perceptible" u "observable por los sentidos"). Las cualidades estéticas se pueden clasificar en tres tipos: cualidades sensoriales, formales y vitales.

4.5.1. Sensoriales

Las cualidades sensoriales son las propiedades que hacen agradable un objeto a los sentidos. Por ejemplo, la textura de un tejido, los colores de un cuadro, el brillo de una escultura o el timbre de un instrumento musical, contemplados al margen de cualesquiera otra consideración, son cualidades sensoriales. La apreciación de estas cualidades permite al contemplador juzgar el valor de las obras de arte aplicando un criterio sencillo (y discutible): si una obra produce placer es mejor que una obra desagradable.

De acuerdo con Deyanira Bedolla⁹, las cualidades sensoriales de los materiales son cinco: visuales, auditivas, táctiles, olfativas y gustativas, ello lo podemos ver con mayor detalle en la figura 4.5.1.

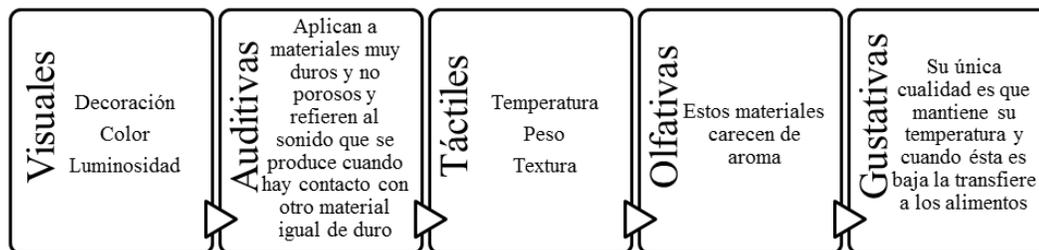


Figura 4.5.1: Bedolla, P. 2003. Cualidades sensoriales de materiales naturales: pétreos.

4.5.1.1. Color y textura

Los productos cerámicos estéticamente son muy atractivos, principalmente porque pese a que en el proceso de conformación tienen un aspecto opaco y burdo, cuando se les aplica el vidriado o acabado, pueden adquirir cualquier color, tono y una muy vasta gama de texturas. Así, en una paleta de acabados, encontramos esmaltes transparentes, opacos, semitransparentes, semi opacos, semi mates y semi brillantes, además de los craquelados (ver figura 4.5.2).

4.5.2. Formales

Las cualidades formales se refieren a la manera como se combinan en un mismo objeto artístico los distintos elementos que lo componen. Así, en una pintura, los contrastes entre las figuras (si las hubiera) y el fondo.

4.5.2.1. Forma

Parte de su atractivo es su plasticidad, que si bien ésta se pierde después de la ignición, influye en la generación de formas y por ello los objetos producidos con estos materiales tienden a ser orgánicos o redondeados en sus vértices, además de que por ser quebradizos, esto es lo ideal para prevenir roturas en un producto terminado. Lo antes mencionado es la causa principal de que históricamente, la tendencia formal de los objetos cerámicos sea orgánica y las formas geométricas se den por excepción y no se presenten en la producción en masa.

⁹Bedolla Pereda, Deyanira. Tesis doctoral: *Diseño sensorial. Las nuevas pautas para la innovación, especialización y personalización del producto.* p. 358.



Figura 4.5.2: Giorello, C. 2014. Paleta de color.

Otro aspecto formal que es preponderante en estos productos es con respecto a los elementos que sobresalen de la forma del objeto, tales como las asas de las tazas o el vertedero de las jarras, debido a que este tipo de elementos tienden a fracturarse con facilidad poniendo en riesgo la forma original del objeto y en algunos caso su función primaria. Estos fenómenos ocurren debido a que la estructura molecular del material genera esta tendencia.

4.5.3. Vitales

Finalmente, las cualidades vitales se refieren a las ideas, sentimientos o vivencias que transmite una obra de arte. No se trata de propiedades que puedan localizarse "físicamente" en la obra, sino que son manejadas por ella. En general, se considera que las obras capaces de sugerir más significados en el contemplador son más valiosas que las obras que sólo ofrecen una lectura plana y evidente.

Así, Joaquim Limonero¹⁰ propone un modelo que permite englobar las emociones del ser humano, mismas que son detonadas por un objeto (ver figura 4.5.3).

Como es obvio, la apreciación de las cualidades estéticas de un objeto artístico depende de, por lo menos, dos factores: en primer lugar, las cualidades han de estar presentes en el objeto; en segundo lugar, el contemplador debe ser capaz de reconocerlas.

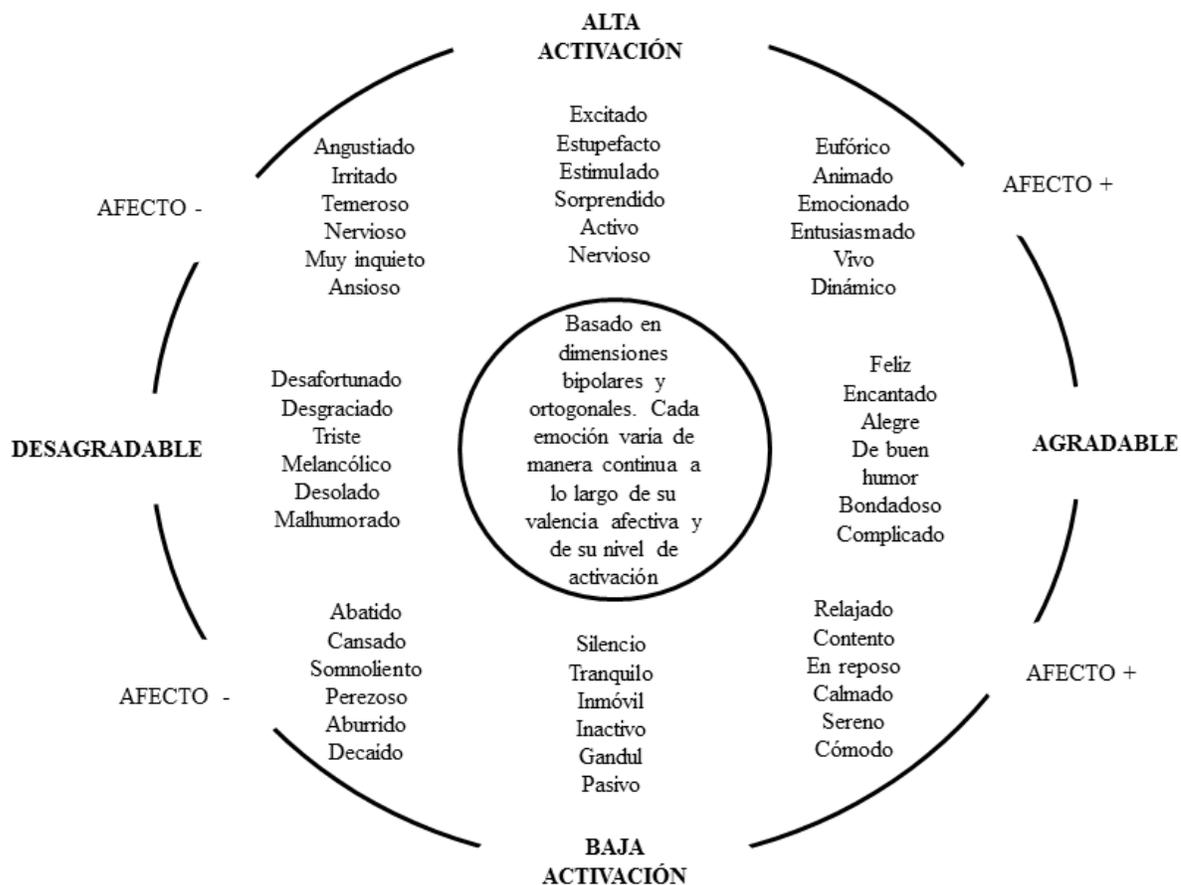


Figura 4.5.3: Limonero, J. 2003. Modelo circular de las emociones.

¹⁰Limonero García, Joaquim Timoteo. *Motivación y emoción*. p. 203

4.6. Cerámica modular

La cerámica modular se da principalmente en los productos industriales como mosaico, ladrillos, celosía, entre otros, sus características formales son principalmente la simetría y el equilibrio de sus dimensiones. A continuación se presentan algunos ejemplos de este tipo de productos.

4.6.1. Ladrillos

Son productos industriales, modulares para construcción; su forma primaria es rectangular, los hay sólidos, o con perforaciones en múltiples variantes, algunos tienen modificaciones en uno o dos de sus cantos para ser usados en esquinas o cornisas (ver figura 4.6.1¹¹).

El acomodo que se les da responde a las necesidades de resistencia estructural y estabilidad del muro construido, hay acomodos convencionales que permiten lograr este objetivo, éste también responde al comportamiento de su forma (ver figura 4.6.2).

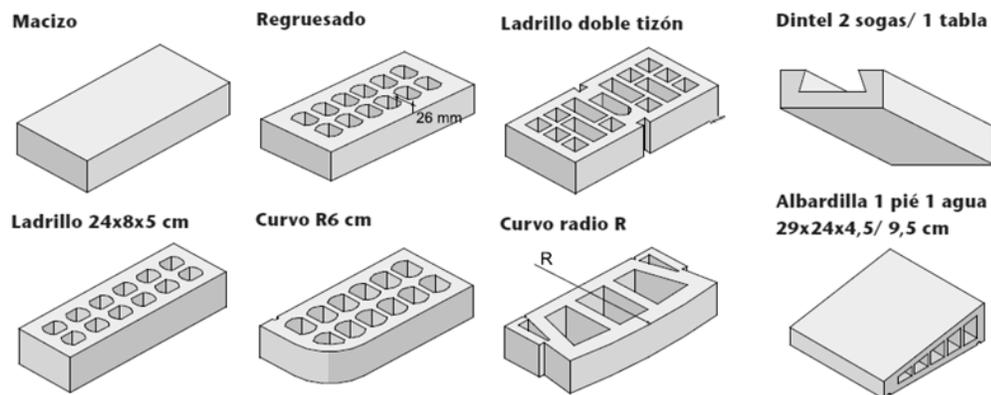


Figura 4.6.1: Malpesa 2012-2013. Ladrillos.

4.6.2. Celosías

En orden de complejidad, son el producto que precede a los ladrillos perforados, sin embargo su uso es diferente ya que su función es ubicarlas en las ventanas o en los muros con objeto de permitir el paso de la luz y el aire, además por un lado ocultar los objetos y por el otro permitir verlos.

¹¹Malpesa. "Catálogo de ladrillos Malpesa 2012-2013". p. 20.

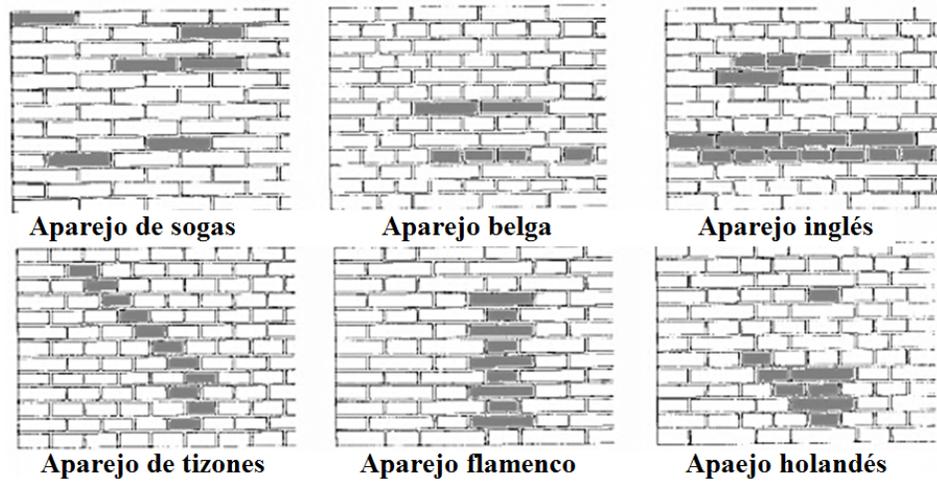


Figura 4.6.2: CMAOT, 2004. Acomodo de ladrillos.

Su forma no se limita a ser rectangular, pero sí a permanecer en forma vertical, a modo de permitir el paso de la luz, la estructura de su mayado es generalmente simétrico, ello con el fin de lograr un acomodo armónico de las piezas, los ejemplos que se presentan a continuación son prueba de ello, la celosía de la figura 4.6.3 no es de forma rectangular o cuadrada aparentemente, pero estructuralmente cuenta con cuatro puntos que permiten un desarrollo cuadrangular, sin embargo debido a que la retícula es irregular, permite generar desarrollos muy variados con un sólo módulo. Por otro lado, la celosía de la figura 4.6.4, es una combinación de celosía y mosaico, debido a que unas son abiertas y otras son cerradas, este caso tampoco es cuadrado o rectangular, pero sigue el patrón exagonal de un panel de abejas y el sistema consta de varios módulos: cerrado, abierto y secciones para las esquinas que también se dan en las dos modalidades (abiertas y cerradas), además de contar con una gama de 4 tonos cálidos y un quinto color que es le negro, estas 9 variantes permiten generar un gran número de posibilidades de crecimiento que se multiplican con el número de piezas de la composición. Así, con simples patrones reticulares una celosía simple se puede convertir en un diseño muy complejo y atractivo estéticamente hablando, además de cumplir con su función principal.

4.6.3. Mosaico

El mosaico, aunque es tridimensional su aspecto, generalmente es bidimensional; su función principal es recubrir muros y dar mayor resistencia a la humedad, aunque otras de sus funciones es la decorativa.



Figura 4.6.3: Patxi mangado y el Estudio ADD+Bailo Rull, 2010. Celosías, “Tras la celosía y Vivir”.



Figura 4.6.4: Expo Archi 2005. Pabellón de España.

Actualmente con el desarrollo que se ha dado en cerámica, hay gran variedad de colores e incluso hay baldosas avanzadas hidrocromáticas como las del proyecto “Magia en el baño”¹², que consistió en el desarrollo de azulejos que van cambiando de color con el contacto con el agua, mismos que son termosensibles y su reacción es el cambio de coloración (ver figura 4.6.5).

¹²They are news.com. “La magia del baño, azulejos que estimulan la inteligencia infantil”. p.1.



Figura 4.6.5: CEU, 2013. Magia en el baño.

4.6.4. Mosaico con relieve

Esta es una variante que se ha venido desarrollando, tanto artesanal como industrialmente logrando resultados sobresalientes en términos estéticos. El mosaico de la figura 4.6.6¹³, fué desarrollado artesanalmente y por ser de una base geométrica (triángulo escaleno) logra generar crecimientos exagonales y el relieve genera formas radiales también exagonales. El objeto de la figura 4.6.7, es un sistema que consta de dos módulos de azulejo cuadrados, tiene relieves que permiten generar 10 composiciones con los dos módulos, sin embargo la diversidad de subcomposiciones que se pueden crear combinando estas 10 composiciones de base son innumerables. Por último, los mosaicos de la figura 4.6.8, tienen la particularidad de no cubrir completamente el muro en el que se montan, sin embargo es precisamente esta particularidad lo que los hace distintos de otros desarrollos más convencionales ya que estas formas tienen un efecto estético ante el comportamiento de la luz en su superficie irregular; los dos ejemplos constan de un solo módulo y son simétricos.

4.6.5. Objetos utilitarios

Estos objetos son utilitarios y por ser modulares son de producción en serie. El objeto 4.6.9¹⁴, tiene como base un análisis complejo que generó su forma, consta de secciones rectas internamente, que permiten un mejor acomodo de los objetos que se coloquen en él y estriadas exteriormente que permiten el acomodo o ensamblaje entre módulos; se produce por extrusión y consta de un solo modulo que puede ensamblarse de diversas formas.

¹³Ramírez, Ana. “Mural modular. Proyecto interdisciplinar”. p. 6.

¹⁴Bartolomé Álvaro, Miguel. “Fossile, un claro ejemplo de extrusión cerámica” . p.1-4.

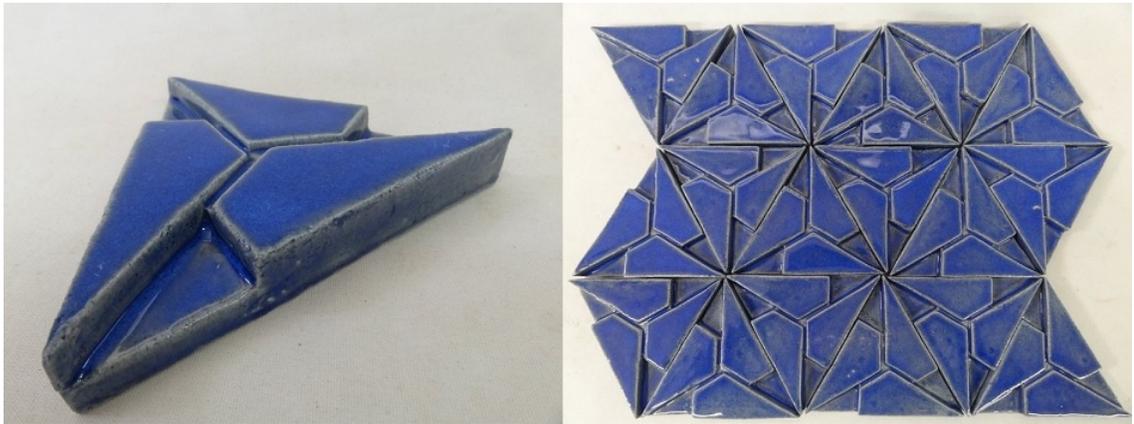
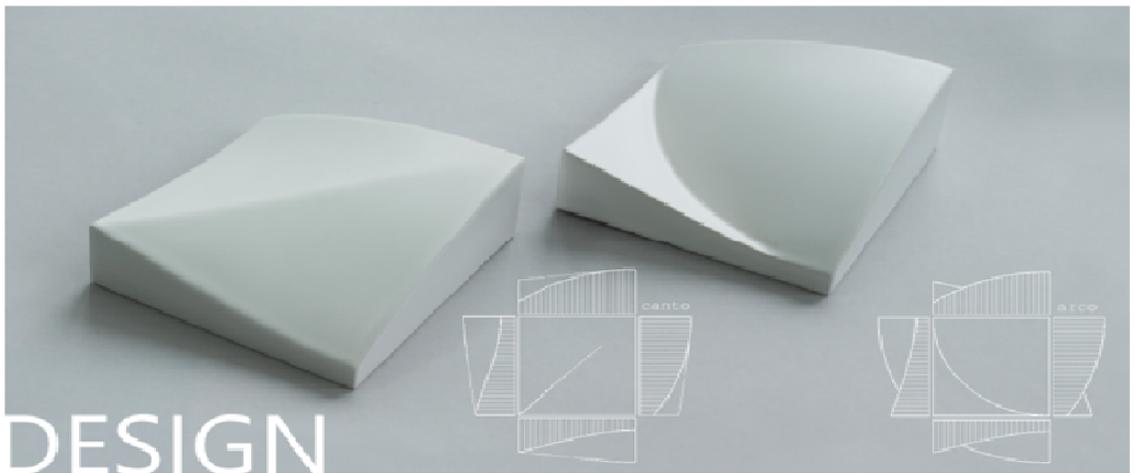
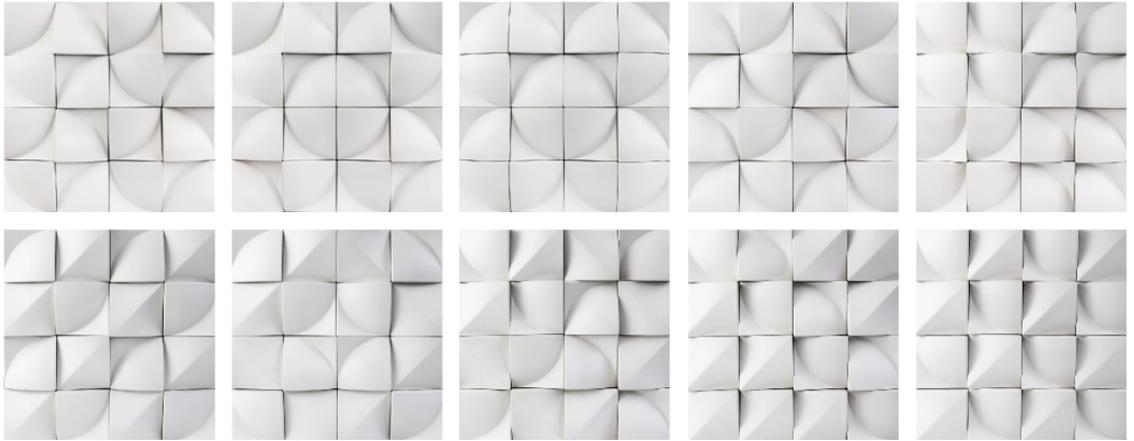
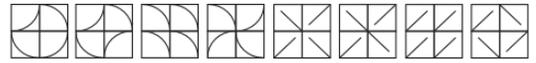


Figura 4.6.6: Santelmo, M. 2013. Mosaico para mural artesanal “Equilatero”.

MORE OPTIONS



DESIGN

Figura 4.6.7: DESIGN, 2013. Azulejos artesanales “Único”.

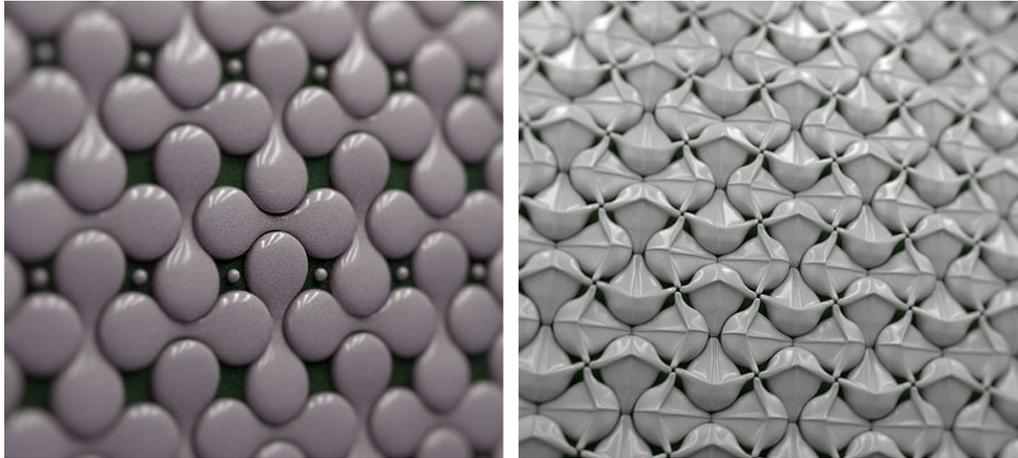


Figura 4.6.8: Velikov, V. 2013. Mosaico.



Figura 4.6.9: Oulhani, Garzon & Sionis, 2008. Estante modular “Fossile”.

El objeto de la figura 4.6.10, es un florero que consta de dos módulos distintos: el florero y el cuerpo, el florero es el que cumple la función de contener la planta y el segundo que además de ser ornamental, mantiene protegido el tallo de la planta y por ser modular permite ensamblar más módulos para regular la altura del objeto.



Figura 4.6.10: . Revival, 2007. Florero “Tebra”.

4.6.6. Escultura modular

Si bien la cerámica modular industrial sigue patrones básicamente geométricos que permiten su producción y la generación de desarrollos armónicos variados, la escultura modular rompe estos esquemas, pero no por ello deja de ser de producción en serie. Así por ejemplo, la artista norteamericana Verónica Byun¹⁵ ha creado obra escultórica con materiales cerámicos y modulación, sus desarrollos en algunos casos no siguen patrones de simetría o de acomodo armónico matemático, pero ello no limita su apariencia armónica (ver figuras 4.6.11 y 4.6.12). Otro caso de escultura modular, pero no geométrica, es el de Wendy Walgate¹⁶, ella lo que hace es desarrollo de objetos cerámicos, figurativos (simulación de animales) formalmente y con colores no realistas, con este acomodo armónico crea varias esculturas modulares con los mismos elementos y ello le permite producir la mayor parte de su obra en serie (ver figura 4.6.13).

¹⁵Ronald Andrew, Kuchta. “A modular vision, the ceramic art of Veronica Byun”. p. 1.4.

¹⁶Glenn, Allison. “Wendy Walgate Exuberance”. p. 57-59



Figura 4.6.11: . Beyun, V. 2012.“Misty Dawn”.

Finalmente la obra de Eric Pilhofer¹⁷, se basa en un módulo que permite generar obra como conjunto de módulos y en instalaciones, donde la modificación de los acabados permite una diversidad creativa y utilitaria de la pieza base, en la figura 4.6.14 se muestran algunos ejemplos de esto. (Pilhofer, E. 2014)

4.7. Cerámica paramétrica

Por su naturaleza, los materiales cerámicos siempre que se modelen de forma artesanal (a mano) tienden a adoptar formas redondeadas u orgánicas, esto es un indicador de que es cerámica producida sin equipo especializado; los productos industriales tienden a ser geométricos y regulares, ésto a consecuencia de que la maquinaria permite lograr estas formas y por ello se puede hacer una producción en serie. Una de las características de la cerámica paramétrica, es que se puede estandarizar, tanto formal como dimensionalmente, esto permite dar al ordenador en el programa de CAD dichas especificaciones o parámetros que pueden

¹⁷Pilhofer, Eric. “Architectural ceramics, sculptural ceramics, glass and design”. p. 1.



Figura 4.6.12: . Beyun, V. 2012. Passion Series #1.



Figura 4.6.13: . Walgate, W. 2007. *Bye Baby Bunting Cradle*, *Play at Being* y *Study on Blue Czech Pitcher*.

controlarse y manipularse en el proceso proyectual en CAD; los parámetros que se pueden dar a un objeto modelado con CAD, constituyen todo el objeto, jerarquizando las dimensiones como variables independientes y dependientes; por otro lado, la forma se parametriza de igual manera, generando parámetros que respondan a valores de geometría descriptiva, tales como paralelismo, igualdad, coincidencia, horizontalidad, perpendicularidad, tangencialidad, ente otros.



Figura 4.6.14: . Pilhofer, E. 2014.Wave Block.

De esta manera, la cerámica paramétrica está desarrollada de una forma más analítica que la cerámica artística, esto no implica que las formas desarrolladas con estas características carezcan de un valor estético o de cualidades armónicas, al contrario, un objeto desarrollado de esta forma, puede realizarse y modificarse hasta lograr la forma que el artista haya visualizado desde su concepción.

Para dar una idea más clara de este concepto, se presentan a continuación algunos ejemplos: la obra de Jennifer Mccurdy esta inspirada en plantas marinas y su movimiento, conceptos que son conjugados en el desarrollo de su obra, misma que es producida en porcelana (figura 4.7.1¹⁸); por su parte Yoo Sol, ha creado una familia de objetos inspirados en el acomodo de burbujas de jabón a partir de modelos realizados con impresión 3D (figura 4.7.2¹⁹); finalmente el trabajo del la Universidad de Bufalo titulado “*Reservoir Wall*”, es producto del análisis ambiental, para el desarrollo de un muro inteligente que controla la temperatura por medio de cavidades que son ubicadas estratégicamente (figura 4.7.3²⁰). Así pues, estos tres ejemplos son prueba de que el modelado paramétrico permite generar cerámica artística, utilitaria y arquitectónica.

¹⁸ *Costa Rica Egg*, imagen cortesía de <http://jennifermccurdy.com/>

¹⁹ *Variation*, imagen cortesía de <http://yoonsool.com/index.php/project/v-a-r-i-a-t-i-o-n/>

²⁰ *Reservoir Wall*, cortesía de <http://www.pearltrees.com/ruilima/parametric-modeling/id5111255#item36269136>



Figura 4.7.1: Mc Curdy, J. 2004-2014. "*Costa Rica Egg*".



Figura 4.7.2: Sol, Y. 2007. “Variation”.

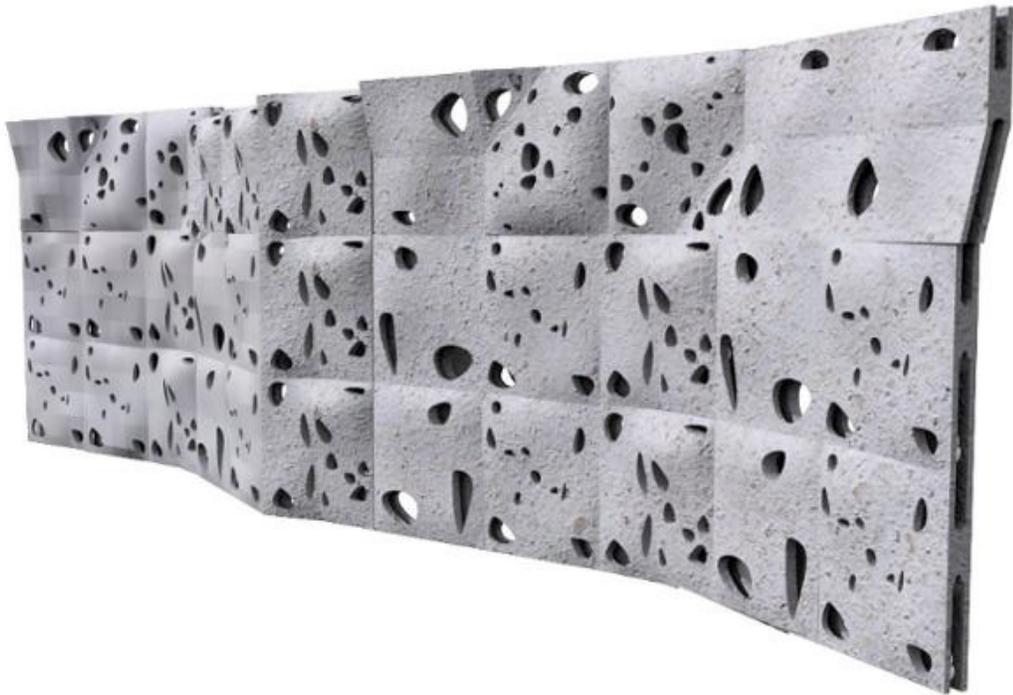


Figura 4.7.3: Bufalo, U. 2011. “Reservoir Wall”.

Capítulo 5

Obra artística

5.1. La obra de arte

Con objeto de lograr definir el concepto de obra de arte revisaremos algunas afirmaciones:

Julio Domínguez define la obra de arte como “*la manifestación concreta de genio creativo del hombre, cuando modifica o reorganiza su entorno para impactar en los sentimientos de sus semejantes*”.¹ Por su parte Ricardo Padilla: “*La obra plástica... es de distintas clases y texturas: papel, tela, madera, mármol, bronce o cualquier otro material susceptible de transformarse como la arcilla o el acrílico*”, y son “*tanto bidimensionales (dibujos, cuadros, grabados, litografías, etc.) como tridimensionales (esculturas, estatuas, obras arquitectónicas, monumentos, edificios, etc.), independientemente de su género (figurativo o abstracto) y de su finalidad*”.² Laura Fernández nos dice que “*En la obra plástica van a incidir dos partes, la formal... y la conceptual... Existen elementos que le son comunes a todas las obras del arte que son configuradores...: líneas, áreas, volumen*”, hay “*elementos diferenciadores: color, calor tonal, textura*” y “*Otras leyes que componen las obras de arte son las estéticas, en las cuales se encuentran: proporción, equilibrio, ritmo o énfasis*”.³ Y finalmente Terry Smith afirma que “*antes que cualquier otra cosa, las obras de arte son testimonio de cada una de estas contemporaneidades: el mero hecho de llegar a ser en y por sí mismas, su existencia en un mundo repleto de otros y su persistencia en distintos mundos determinados por la repetición y la diferencia*”.⁴

¹Domínguez Bedoya, Julio. “El concepto de obra de arte en la legislación mexicana”. p. 2.

²Padilla Padilla, Ricardo A. “La obra plástica y su protección en la legislación panameña”. p. 1.

³Fernández Martínez, Laura Margarita. “Los retos sociales y comunicativos de la pintura mural santia-guera, en la formación del individuo”. p. 5.

⁴Smith, Terry. *¿Qué es el arte contemporáneo?*. p. 18.

Así la obra de arte nos permite expresar un concepto y éste se puede materializar bidimensional o tridimensionalmente, dando pie al objeto artístico.

5.2. Generación de la obra artística

Los factores que intervienen en el momento de la producción de obra artística pueden ser múltiples, sin embargo existen aspectos básicos que se deben abordar. A lo largo de la historia ha existido la obra artística y los artistas cada uno en su tiempo se han valido de la tecnología para la generación de su obra, algunos han innovado y otros han explotado el uso de herramientas o materiales; así, las primeras esculturas realizadas en mármol se labraron con cincel. Actualmente existen múltiples herramientas digitales que permiten al artista lograr la generación de obra escultórica de vanguardia.

En su momento el diseño gráfico dio un salto al diseño asistido por computadora y en la actualidad, las computadoras son herramientas fundamentales de esta disciplina.

Los elementos para la generación de una obra artística escultórica son básicamente tres: el diseño (concepto y forma), el material y la tecnología a emplear en el desarrollo de la obra. Así el escultor al realizar un diseño lo visualiza de forma ideal, después decide en qué material se producirá y finalmente por medio de herramientas logrará que el material adquiera la forma proyectada. Esto se esquematiza en la figura 5.2.1, donde el diseño regirá sobre el material y la tecnología, teniendo el mayor peso sobre la obra escultórica.

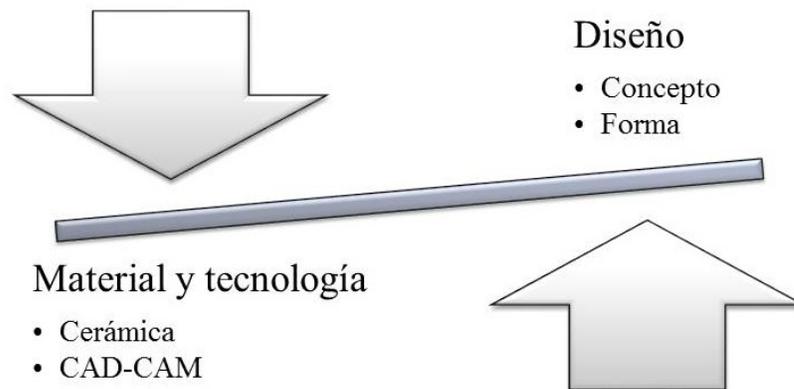


Figura 5.2.1: Rodríguez, S. 2014. Esquema de la Producción de obra artística.

5.3. Clasificación del arte

Debido a que la expresión artística se da en diversas formas, se pueden identificar múltiples opciones de clarificarlo, sin embargo podemos recurrir a la clasificación más convencional y de esta manera ubicar las llamadas “nuevas artes” y/o el arte “contemporáneo⁵” que sin lugar a dudas es el que permite la manifestación artística vía las nuevas tecnologías.

5.3.1. Tiempo espacio

De acuerdo con Edward Wright, la clasificación del arte se sitúa en constante controversia y en este ejercicio se concuerda con su afirmación de que *“la mayoría de los temas, conceptos, definiciones o clasificaciones relacionadas con el campo de las artes, presentan múltiples debates y posturas, cabe destacar que todas son válidas. La clasificación (ver figura 5.3.1) más difundida es la que nombra a las siete bellas artes universalmente conocidas: literatura, escultura, arquitectura, pintura, música, danza y cine”*.⁶

5.3.2. Las nuevas artes

De acuerdo con Smith el arte contemporáneo conforma la mayor parte del arte que se produce en el presente.

Dentro de las “nuevas artes” podemos incluir a la producción artística que se genera a partir de las nuevas tecnologías y por medio de conceptos matemáticos que sugieren el arte a partir de esquemas susceptibles de reproducción controlada (ver figura 5.3.2).

Las nuevas artes provienen de un proceso creativo que se beneficia de la tecnología para lograr formas y efectos que sin las nuevas tecnologías, simplemente no podrían realizarse, quedando en arte conceptual. Surgen así formas innovadoras de alta calidad y estructuras resueltas matemáticamente de forma muy precisa, que si bien pueden generarse por medio de otros procesos, con la tecnología son resueltas eficazmente. Este tipo de obra, es producto de conjugar diversos medios de expresión, vía la tecnología, y obtener un concepto más rico para todos los sentidos del ser humano, de esta manera se integra la música con la imagen, el arte que se difunde en Internet, el dibujo y el modelado computarizado, entre otros medios de expresión que combinados logran un resultado expresivo muy diverso.

⁵Contemporáneo: Perteneciente o relativo al tiempo o época en que se vive. Fuente: <http://lema.rae.es/drae/>

⁶Wright, Eduard A. “Para comprender el teatro actual” p. 1.

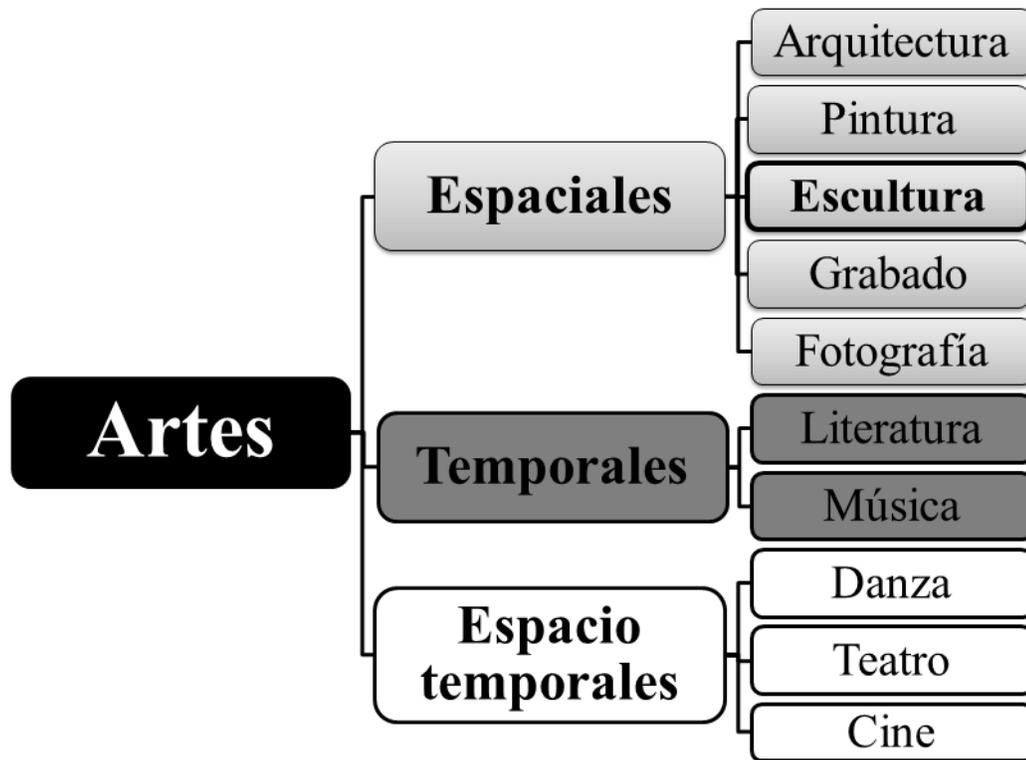


Figura 5.3.1: Escobar, I. 2009. Clasificación de las artes tiempo espacio.

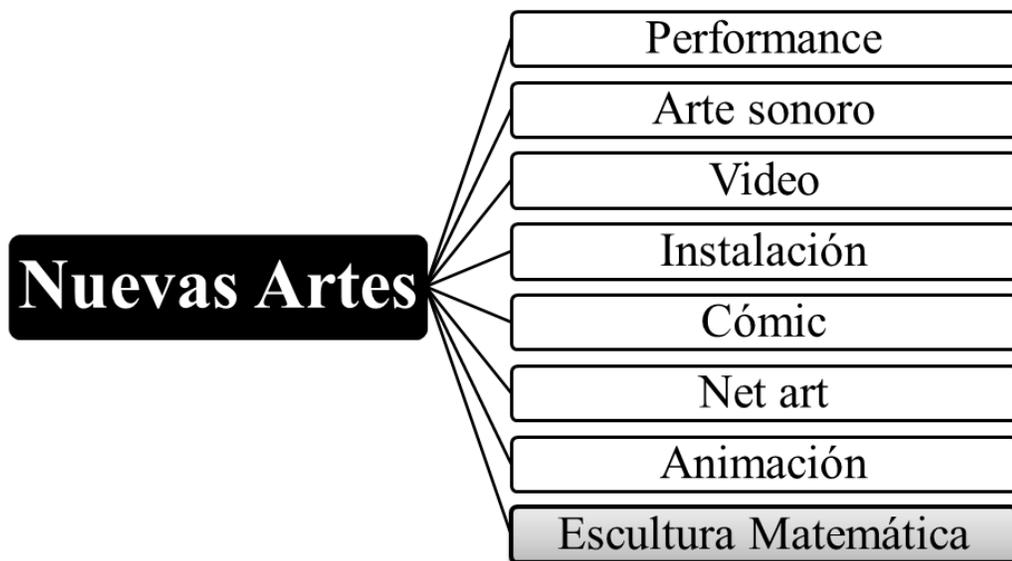


Figura 5.3.2: Rodríguez, S. 2014. Las nuevas artes.

A continuación se presentan las definiciones dadas por Irmas Escobar, dentro de los tipos de expresión artística de esta clasificación, sin embargo cabe mencionar que pueden existir otras clasificaciones y/o denominaciones de nuevas artes.⁷

Performance. Espectáculo de carácter vanguardista en el que se combinan elementos de artes y campos diversos, como la música, la danza, el teatro y las artes plásticas.

Arte-sonoro. Comprende un diverso grupo de prácticas artísticas que tienen como principal objetivo diferentes nociones del sonido, la escucha y la audición. Existen normalmente diferentes relaciones entre los ámbitos visual y auditivo del arte así como de la percepción por los artistas del sonido

Vídeo. Sistema que permite la grabación de imágenes y sonidos en una cinta magnética que después puede reproducirse y verse en la pantalla de un monitor.

Instalación. Una instalación artística es un género de arte contemporáneo que comenzó a tomar un fuerte impulso a partir de la década de 1960. Las instalaciones incorporan cualquier medio para crear una experiencia visceral o conceptual en un ambiente determinado. Los artistas de instalaciones por lo general utilizan directamente el espacio de exposición, a menudo la obra es transitable por el espectador y éste puede interactuar con ella. Las intervenciones en espacios naturales que incorporan el paisaje como parte integrante de la obra suelen enmarcarse en el denominado *Land Art* o arte de la tierra.

Cómic. Relato o historia explicada mediante viñetas o recuadros que contienen ilustraciones y en el que algunas o todas las viñetas pueden contener un texto más o menos breve.

Net-art. También llamado net.art o arte.en.red, puede referirse a un género de producciones artísticas realizadas ex profeso en y para la red internet, o a un movimiento específico de artistas de origen europeo que introdujeron ciertas prácticas artísticas en la década de los noventa coincidiendo con el desarrollo de la *WorldWideWeb*. En tanto género, el net.art es una de las formas de arte interactivo habilitadas por los soportes digitales y las prácticas comunicativas generadas por ellos. La denominación net.art designa las prácticas artísticas que apuntan a una experiencia estética específica de internet como soporte de la obra, y dialogan o exploran prácticas comunicativas en la cibercultura.

Animación. Animación es la técnica o noción de movimiento que se aplica sobre un elemento o individuo. Hoy en día, el término animación está muy ligado a la producción gráfica de dibujos animados, pero en términos generales son muchas las situaciones en que la animación ocurre por fuera de aquella.

⁷Escobar Rodríguez, Irma. “Leticia. Las bellas artes” . p. 1.

En este sentido, un animal o individuo puede pasar del reposo a la animación a la hora de realizar cualquier tipo de actividad. “Estar animado” es una expresión que implica la existencia de una actitud activa.

Escultura-Matemática. Pertenecen a esta tipología todos aquellos trabajos escultóricos en los que en su concepción, diseño, desarrollo o ejecución resulta necesaria la utilización de las Matemáticas. Estas características pueden variar desde las relacionadas con la geometría más sencilla, hasta la geometría no euclidiana o la topología⁸ más compleja. La forma de expresión artística que permite trabajar con un sistema modular en materiales cerámicos, es un tipo de escultura que a su vez puede beneficiarse de un desarrollo empleando el modelado paramétrico, propiamente entra dentro de la clasificación de la **escultura matemática**, de la cual Ricardo Zalaya⁹ hace un planteamiento de clasificación de este tipo de escultura (ver figura 5.3.3). De acuerdo con la clasificación de Zalaya¹⁰, el caso de estudio que se desarrollará en este documento es escultura matemática realizada con conceptos de álgebra que permiten la modularidad (ver figura 5.3.4).

5.4. El arte y la tecnología

La relación entre el arte y la tecnología la definen Jaidy Díaz y José García y escriben: *el empleo de nuevas tecnologías como medios para hacer arte hace que la creación artística expanda sus fronteras. El arte surge como un lenguaje de características propias, cuyo eje central es la creación de imágenes asistidas por computadora. Esta etapa, definida por la incorporación del sistema informático al lenguaje del arte, introduce el concepto de multisensorialidad que, (ostentando) el título de Realidad Virtual, ofrece cabida a fenómenos no solo visuales sino sonoros, táctiles, olfativos, constituyendo un paso más en el fortalecimiento de la multimedia y el arte interactivo.*¹¹

Por su parte Claudia Giannett interpreta esta relación y no dice: *las experiencias y transformaciones que están teniendo lugar en el ámbito del arte que emplea los nuevos medios digitales y de telecomunicación suponen cambios radicales en los procesos creativos, la percepción y la estética.*

⁸Topología: Rama de las matemáticas que trata especialmente de la continuidad y de otros conceptos más generales originados de ella, como las propiedades de las figuras con independencia de su tamaño o forma. Fuente: <http://lema.rae.es/drae/>

⁹Zalaya Báez, Ricardo. Tesis doctoral: *Escultura matemática “Antecedentes en la historia del arte, desarrollo, perspectivas de evolución y clasificación por conceptos matemáticos”*. p. 152.

¹⁰Zalaya. *Escultura matemática ...*, op. cit. p. 163.

¹¹Díaz, Jaidy & García Sánchez, José. “Daniel. Arte y tecnología”. p. 62.

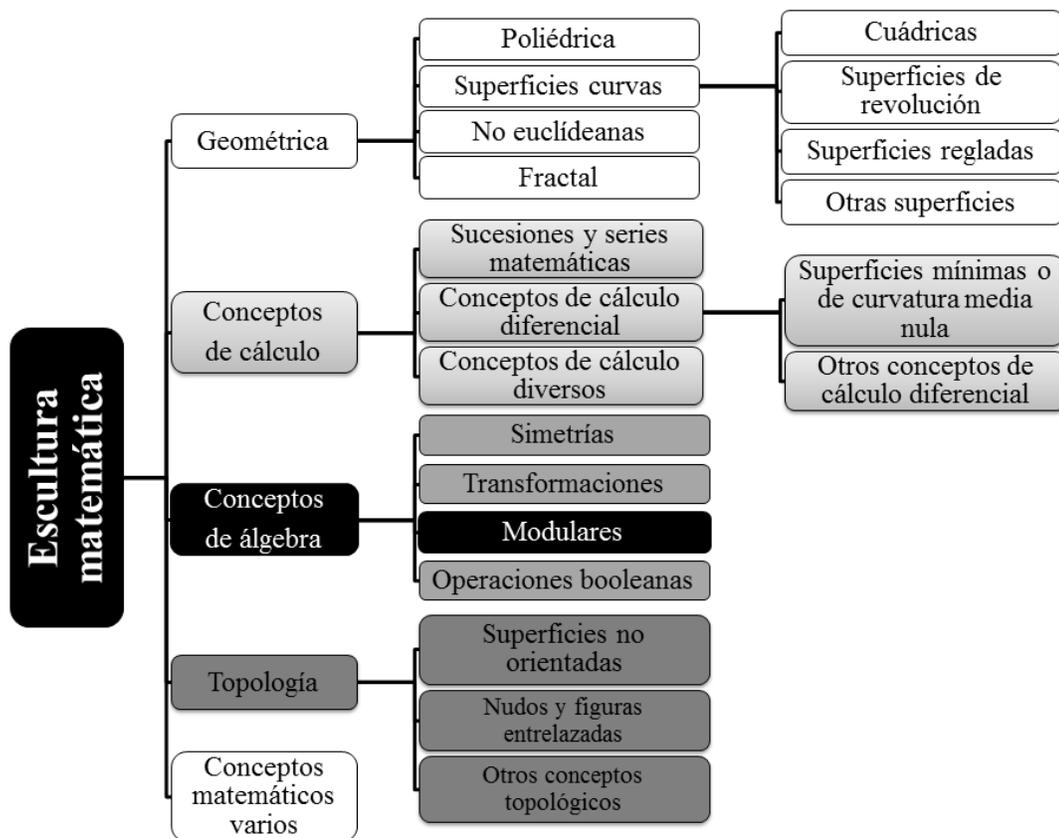


Figura 5.3.3: Zalaya, R. 2005. Clasificación de escultura matemática.



Figura 5.3.4: Rodríguez, S. 2014. Ubicación del proyecto en expresión artística.

Estos cambios y los antecedentes (las teorías más relevantes y pioneras, que ya en los años cincuenta reflexionaron sobre la relación entre arte y tecnología), como las nociones emergentes, que permiten la comprensión de los nuevos lenguajes y sus estéticas. Por un lado, el cada vez más estrecho vínculo entre arte y ciencia y, por otro, el arte interactivo como punto de partida para el planteamiento de un nuevo discurso estético, teniendo en cuenta la relación de interdependencia y complementariedad entre creador, obra y espectador partícipe.¹²

¹²Giannetti, Claudia. *Estética digital, sintopía del arte, la ciencia y la tecnología*. p. 6.

Dentro de las nuevas formas de expresión artística se han desarrollado conceptos como el media art o arte interactivo, el demoscene¹³ y el arte electrónico, entre otros denominados de diversas formas pero basados en las tecnologías digitales, audiovisuales, computarizadas, geométricas y matemáticas; este tipo de arte emplea las nuevas tecnologías en su manifestación, sin embargo, por encontrarse éstas en pleno desarrollo lo mismo ocurre con estas corrientes. *En las recientes tendencias del arte interactivo (instalaciones interactivas, realidad virtual, sistemas de vida e inteligencia artificial), se hace cada vez más notable la interrelación entre arte, ciencia y tecnología.*¹⁴

Así el arte, la ciencia y la tecnología están ligados en la producción de las “nuevas artes” (ver esquema 5.4.1), esto no implica que históricamente la ciencia no haya contribuido con la producción artística, sin embargo, las nuevas artes no habrían surgido de no existir un desarrollo tecnológico que permitiera generarlas, además de que éste está implícito en ellas como un nuevo lenguaje expresivo.

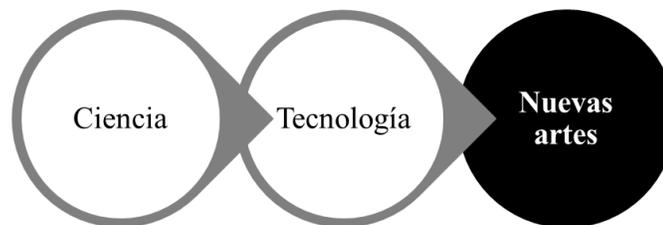


Figura 5.4.1: Rodríguez, S. 2014. Producción de nuevas artes.

El uso de nuevas tecnologías marca cambios de paradigmas estéticos en el arte, tales como su materialización o reproducibilidad. Ejemplo de esto son las esculturas virtuales de Javier Barrallo¹⁵ que están diseñadas para apreciarse en los medios digitales (ver 5.4.2).

Si bien las impresoras 3D han permitido materializar este tipo de obra, es necesario aún desarrollar este tipo de dispositivo a fin de obtener producción artística en los materiales que visualizó el artista en su concepción, en este sentido estos dispositivos todavía tienen limitaciones, particularmente en los materiales pétreos tales como la cerámica. Hay dispositivos que ya imprimen en pastas cerámicas, sin embargo estos dispositivos generan objetos de cerámica sin acabados.

¹³“Demoscene” es una palabra inglesa, que engloba todo un movimiento cultural que gira alrededor de la creación de “demos”. Fuente: www.matematicalia.net › Vol. 3, nos. 4-5 (oct.-dic. 2007)

¹⁴Giannetti, Claudia. *Estética digital...* op. cit. p. 11.

¹⁵Zalaya. *Escultura matemática ...*, op. cit. p. 17.

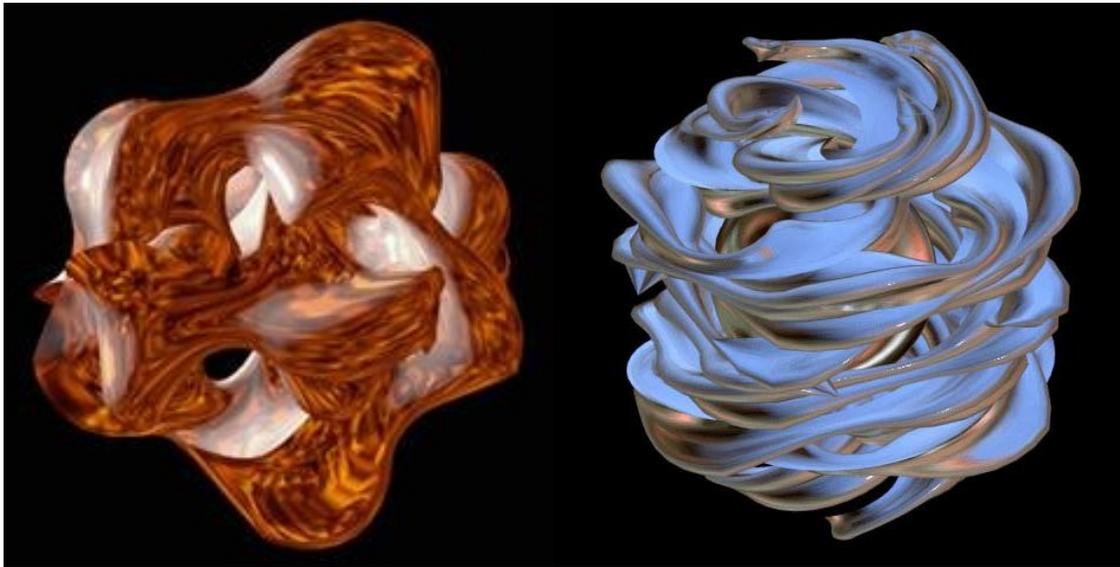


Figura 5.4.2: Barrallo, J. 1994. Escultura Virtual “Hypersculpture”.

5.5. El mercado del arte

Al inicio de éste capítulo hemos hablado de la obra de arte y se ha dado, en términos generales una definición. Con respecto al mercado, por definición es “el lugar físico o teórico donde se encuentra la oferta y la demanda de productos y servicios y se determinan los precios”¹⁶.

Pues bien, para poder interpretar mejor el concepto que implica “mercado del arte”, asumiremos que es en un sentido localista como aquel en que se comercializan obras de arte.

El valor artístico de una obra es subjetivo, sin embargo ésta tiene un valor intrínseco de los materiales y procesos para su creación, por lo tanto, el mercado del arte estará más ligado a conceptos de este tipo y fácilmente identificados por el marketing¹⁷.

En este mercado es particularmente importante definir al consumidor de arte, que de acuerdo con Pérez, principalmente está formado por coleccionistas tradicionales que buscan objetos con valor estético, decorativo, intelectual o histórico y los nuevos compradores que han surgido con la globalización¹⁸, los cuales compran por inversión, prestigio, moda o cualquier otro motivo.

¹⁶Definición de mercado del arte. Fuente: <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/nueva/econinforma/pdfs/367/03rogelio.pdf>.

¹⁷Marketing: Conjunto de técnicas y estudios que tienen como objeto mejorar la comercialización de un producto. Fuente: <http://lema.rae.es/drae/>

¹⁸Globalización: Tendencia de los mercados y de las empresas a extenderse, alcanzando una dimensión mundial que sobrepasa las fronteras nacionales. Fuente: <http://lema.rae.es/drae/>

Estos últimos han influido en gran medida en el alza de precios en determinados sectores del mercado, particularmente el del arte contemporáneo.

El mercado del arte opera de una forma compleja, sin embargo, por su parte Philip Kotler y Kevin Lane proponen que: *el marketing de las artes es aquel que hace referencia al proceso social, orientado hacia la satisfacción de las necesidades y deseos de los individuos y organizaciones, mediante la creación y el intercambio voluntario y competitivo de obras de arte generadoras de utilidades.*¹⁹

Este mercado está seccionado en un mundo profesional y el mundo del consumidor del arte. El mundo profesional evalúa la calidad de una obra de forma tal que es un misterio para los consumidores. Debido a que el consumidor no entiende esta forma de evaluar el arte convierte a este mercado en algo atractivo pero incierto para el consumidor. Algo que afecta aún más, es que el consumidor no suele confiar en su propio gusto. En el mercado del arte, estas decisiones deben asentarse solamente en las opiniones de los críticos y las recomendaciones de expertos. Por el contrario de otras formas de arte (como el cine o la música), los productos no son eternamente reproducidos y cuentan con una calidad única distintiva. Mientras que las inversiones en el placer estético sean extremadamente bajas, la decisión de consumir supondrá un riesgo limitado para quien la tome (en este caso el coleccionista). La peculiar naturaleza del arte implica que siempre conlleve un componente de inversión asociado a su consumo, equiparable a los bienes raíces. Si el consumo de arte es relativamente barato (como en discos, cine, posters), a los compradores no les molestará en exceso perder dinero. Sin embargo la incertidumbre y su inusual naturaleza convierten al mercado del arte en un patio de recreo para millonarios.

Así pues, el valor de una obra en este mercado puede contemplar, por lo regular cinco aspectos (ver figura 5.5.1):

1. El valor histórico, que distingue a una obra por la fecha de su creación y el momento que representa; que en su aquí y ahora (existencia) es irrepetible.
2. El valor que se da por quién lo creó, que se incrementa dependiendo de la trayectoria del artista y todo su contexto.
3. El valor material, dado que existen materiales como los metales preciosos y otros que por su naturaleza ya son valorados.
4. El valor tecnológico, que implica una evaluación de el grado de complejidad que dio pie a la generación de la obra.

¹⁹Kotler, Philip y Lane Keller, Kevin. *Dirección de Marketing*. p. 45.



Figura 5.5.1: Rodríguez, S. 2014. Aspectos que determinan el valor de la obra de arte.

5. Y finalmente el valor estético, que tiene que ver con el concepto y lo que expresa la obra en si. Este valor es el más ambiguo, pero que invariablemente, es determinante en el precio de una obra artística.

5.5.1. La reproducción de la obra

El concepto de autenticidad en una obra de arte, históricamente ha sido muy valorado. Sin embargo, la tecnología ha modificado la forma de interpretar este valor. Puesto que la tecnología ha permitido reproducir obra y recrearla, la obra de arte contemporánea de las últimas dos o tres décadas tiende a valorarse de forma distinta. Esto porque anteriormente la reproducción manual era interpretada como falsificación, sin embargo la reproducción técnica es recibida con mayor grado de aceptación y se reconoce más independiente que la manual respecto del original; por esta razón la reproducción técnica es bien aceptada en algunas técnicas artísticas, tales como la fotografía, se interpreta que la obra queda intacta pese a su duplicación en tamaño real o a escala.

Actualmente, la antigua y tal vez errónea percepción de la reproducción de la obra tridimensional ha cambiado, gracias a las nuevas tecnologías, es posible replicar obra e incluso el incursionar en estos nuevos métodos logra incrementar el valor de la obra; así la técnica reproductiva desvincula lo reproducido del ámbito de la tradición.

Un ejemplo de reproducción artística con “técnicas modernas de la escultura” es la obra de Barry X. Ball²⁰, quién recrea obras del Renacimiento, las reconstruye en software de modelado 3D y les da vida en piedra con un proceso de corte controlado por computadora. Sin embargo, dichas obras son terminadas a mano. En la figura 5.5.2²¹ Barry hace una interpretación de la escultura Envy, hecha por Giusto LeCourt (1627 -1679) en el siglo XVII, ésta es trasladada a una piedra de calcita dorada utilizando un escáner digital y una fresadora.

5.6. La Escultura

Para definir escultura podemos ver la siguientes afirmaciones:

*Escultura: Arte de modelar, tallar o esculpir en barro, piedra, madera, etc., figuras de bulto u obra hecha por el escultor”. La palabra Escultura procede del latín sculpere, “esculpir”, es el arte de crear formas figurativas o abstractas, tanto en bulto como en relieve.*²²

Las obras escultóricas se expresan mediante formas sólidas, reales, milimétricas; pues ocupan un espacio tridimensional: tienen alto, ancho y profundidad. ²³

*La escultura es el proceso de representación de una figura en tres dimensiones, el objeto escultórico es por tanto sólido, tridimensional y ocupa un espacio.*²⁴

Por lo que podemos interpretar que esculpir es modelar cualquier material tridimensionalmente con fines estéticos, basándonos en un concepto para expresar algo; la acción de esculpir puede ser o no desarrollada por el artista, sin embargo, la concepción de la escultura convierte a su creador en artista. Así, la escultura busca encontrar el lenguaje del material por medio de la forma y de esta manera dar un significado. En la escultura se incluyen todas las artes de talla y cincel, junto con las de fundición y moldeado.

²⁰X. Ball, Barry. “Artista reconstruye obras clásicas del renacimiento gracias a la impresión”. p. 1.

²¹X. Ball, Barry. “Página web de Barry X. Ball, 1982-2014”.

²²Real Academia Española. “Diccionario de la lengua española”. 2003-2014.

²³Escobar. “Las bellas ...”. op. cit. p. 1.

²⁴Martín González, Juan José. *Las claves de la escultura*. p. 61.

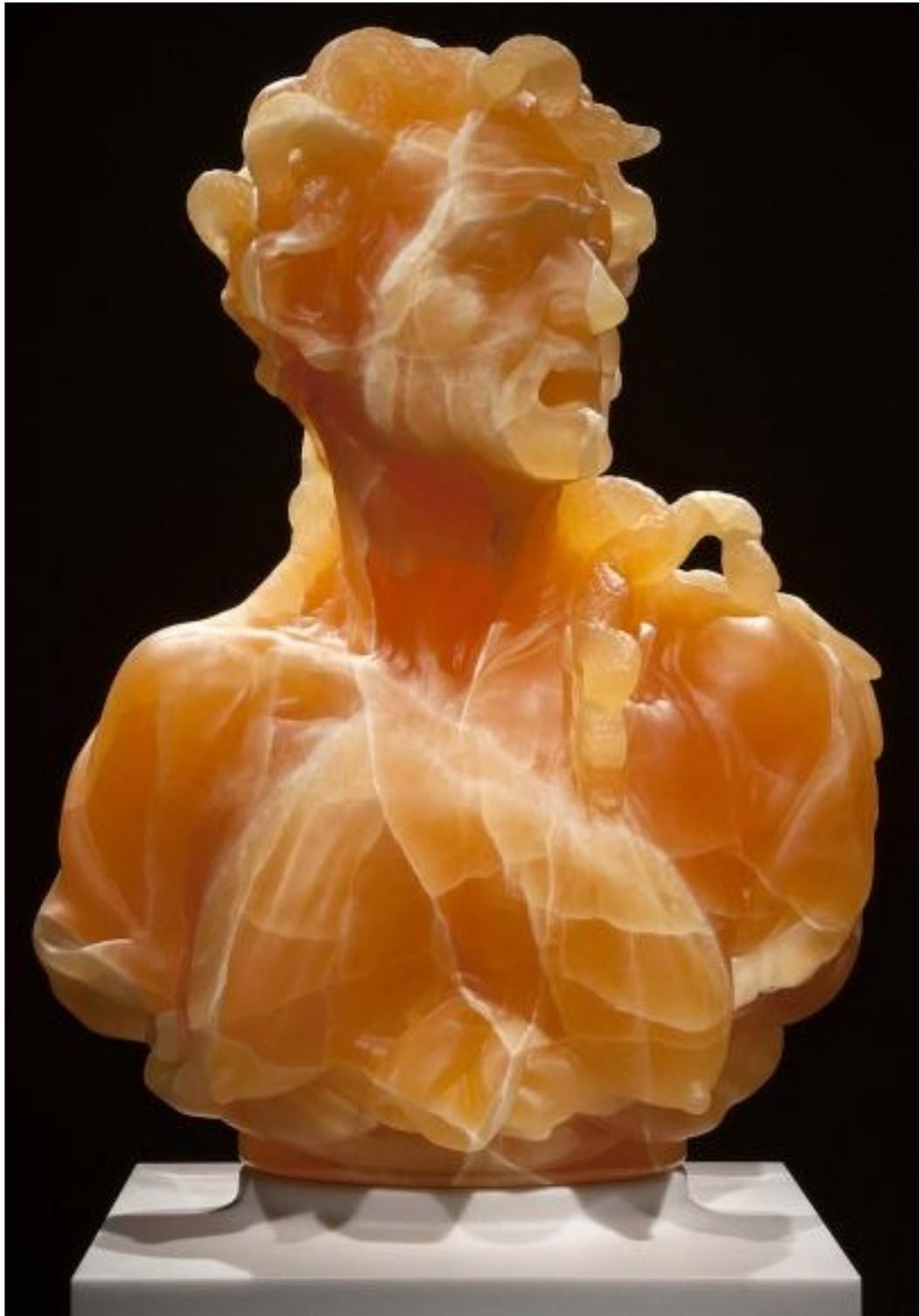


Figura 5.5.2: Barry X. Ball, 2008-2012. Interpretación de Envy.

5.6.1. Materiales

Los materiales usados en la producción de una escultura son inherentes al resultado de su apariencia y textura, por lo que la escultura adopta sus características, ellos expresan su origen, el proceso que conformó la obra y aunque, en algunas ocasiones, ocupen el mismo volumen en el espacio, su lenguaje es diferente en cada uno de ellos (ver figura 5.6.1).

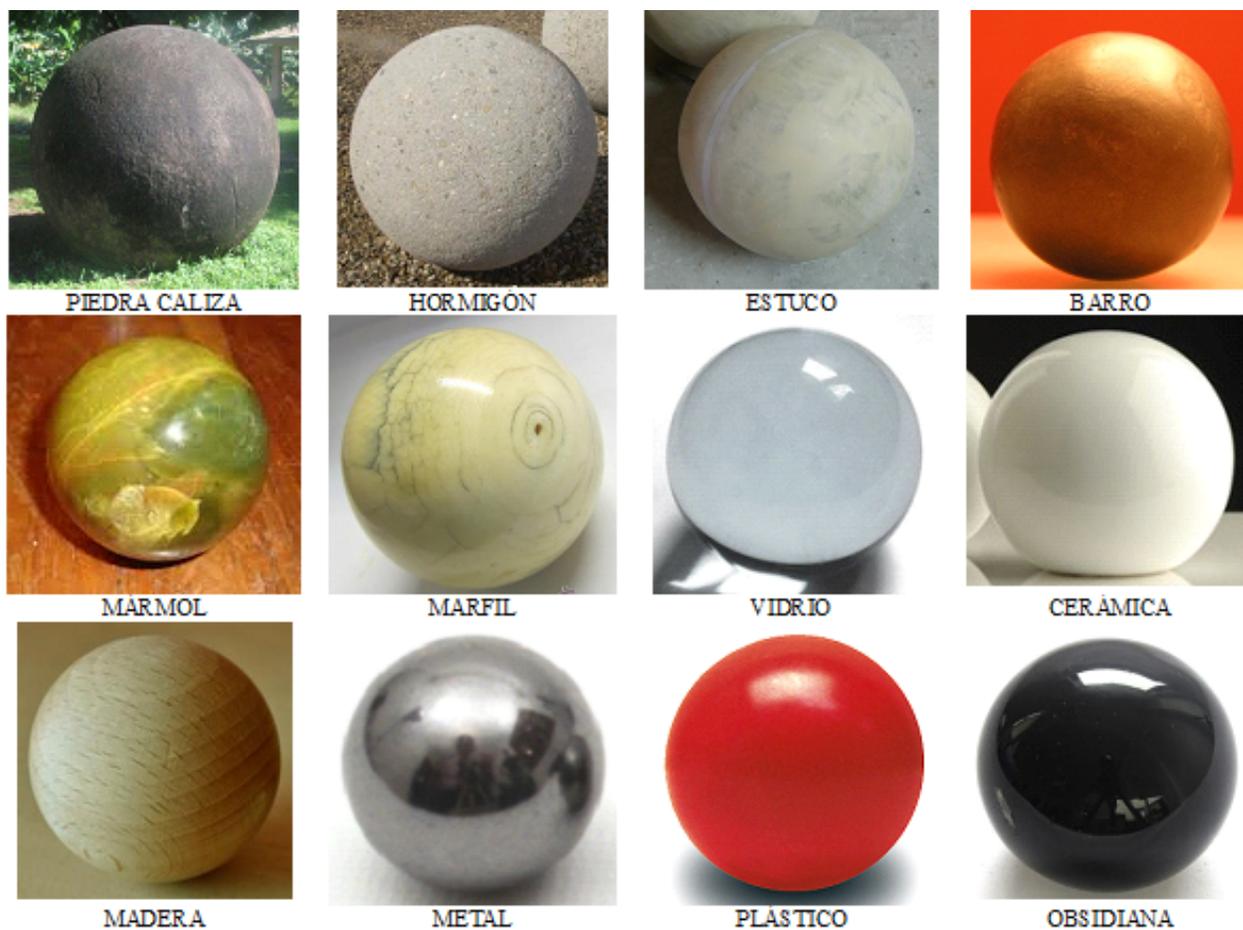


Figura 5.6.1: Rodríguez, S. 2014. Esferas de diversos materiales

Por ejemplo, el trabajo en cerámica permite diversos acabados y esto depende de su naturaleza, así el escultor define lo que necesita obtener del material en pro de la forma y la textura proyectada. El barro es uno de los materiales históricamente usados para esculpir, esto por su fácil forma de modelar, que puede ser simplemente usando las manos y por ser de bajo costo. En la preparación de cerámica, los procesos industriales han evolucionado y disminuido el trabajo manual; actualmente se pueden conseguir pastas estandarizadas para el uso de los escultores.

Otro de los notables avances es el equipo especializado para modelado de objetos, donde podemos citar ya a las impresoras 3D, que eliminan al 100% la intervención manual en el modelado (ver figura 5.6.2); por supuesto que dichos dispositivos tienen aún limitaciones, sin embargo estas tecnologías están creciendo a pasos agigantados y ello implica nuevas formas de generar y concebir objetos.



Figura 5.6.2: Unfold, 2014. Extrusora de pasta y algunos trabajos hechos en ella.

5.6.2. Técnicas escultóricas

Algunas de las técnicas escultóricas más comunes se presentan a continuación.

Talla: consiste en sacar partículas a un bloque de material hasta obtener la figura deseada; regularmente la herramienta empleada debe ser de un material metálico o con mayor dureza que la del material a tallar (ver figura 5.6.3).

Modelado: dar la forma deseada a un material plástico de consistencia pastosa y maleable (ver figura 5.6.4).

Forja: Consiste en dar forma a planchas o láminas de metal mediante técnicas de plegado, curvado o repujado. Las piezas de metal de una escultura, generalmente de hierro, se pueden unir mediante soldaduras (ver figura 5.6.5).

Vaciado: es obtener una forma en hueco o vacío para llenarla después con un material fundido o una pasta cualquiera y lograr la positiva (ver figura 5.6.6).

Ensamblaje: consiste en unir piezas ya existentes para crear una figura nueva. Es una forma de escultura compuesta de objetos “encontrados” arreglados de tal manera que crean una sola obra (ver figura 5.6.7).



Figura 5.6.3: Cortesía de <http://canteriapasoapaso.blogspot.mx/>, 2014. Talla en piedra.



Figura 5.6.4: Rodríguez, S., 2013. Modelado de barro en estado plástico.



Figura 5.6.5: Chirino, M. 2011. Taller de forja.



Figura 5.6.6: Rodríguez, S., 2012. Escultura por vaciado.

5.6.3. Tipos de escultura

La escultura al igual que el arte se puede clasificar de diversas formas y por ello los tipos de escultura pueden ser diversos. En primera instancia se plantea la clasificación que se refiere a la forma de las obras escultóricas y cómo ocupan el espacio tridimensional, donde éstas pueden ser relieves y sus variantes y exentas o de bulto redondo. La de relieve es aquella que está realizada o adherida a una superficie, por lo cual presenta un único punto de vista que es el frontal.



Figura 5.6.7: Argonauta, 2006. Ensamblaje.

Según lo que salga del plano se llamará de bajorrelieve, medio relieve, altorrelieve y hueco relieve (ver figura 5.6.8²⁵).

Y las esculturas exentas son aquellas que se pueden contemplar desde cualquier punto de vista y de acuerdo a la parte del cuerpo representada se denominará de busto, medio cuerpo, tres cuartos, torso, entre otras (ver figura 5.6.9²⁶).

La escultura por lo que se puede representar con ella, se puede dividir en dos grupos: la estatuaria y la ornamental; la escultura estatuaria se ocupa de la representación de la forma humana y de expresar las distintas concepciones suprasensibles del hombre, y la escultura ornamental se ocupa de reproducir artísticamente al resto de los seres que componen la naturaleza a excepción del hombre, como los vegetales, animales y otras representaciones.

²⁵Calendario Azteca o Piedra del sol, imagen cortesía de <http://www.treecreativity.com/2012/04/la-piedra-del-sol.html>.

²⁶Monolito de Tláloc, imagen cortesía de http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/42/Museo_Nacional_de_Antropologia_Mexico.JPG



Figura 5.6.8: Ejemplo de bajo, medio, alto y hueco relieve: Calendario Azteca o Piedra del sol.



Figura 5.6.9: Ejemplo de escultura exenta: Monolito de Tláloc.

Capítulo 6

El CAD-CAM

6.1. CAD

CAD: Diseño Asistido por Computadora (*Computer Aided Design*).

De acuerdo con René Martínez y Rodrigo Cárdenas:

*“El CAD involucra el uso de computadoras para crear dibujos y modelos de productos, es una herramienta que permite al diseñador conceptualizar con mayor facilidad el producto que está diseñando y considerar diseños alternativos o modificaciones en el menor tiempo posible, lo cual le otorga una ventaja competitiva. La forma básica del CAD es representar un dibujo en dos dimensiones (2D). En términos de automatización, esto es analógico a un procesador de dibujos comparado con un procesador de palabras”*¹Por su parte Oswaldo Rojas y Julio Salas, identifican al CAD como *“un sistema que permite el diseño de objetos por computadora, presentando múltiples ventajas como la interactividad y facilidad de crear nuevos diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo antes de la construcción del prototipo, modificando si es necesario, sus parámetros; la generación de planos con todo tipo de vistas, detalles, secciones, y la posibilidad de conexión con un sistema de fabricación asistida por computadora, para la mecanización automática de un prototipo”*²Barry Hawkes afirma que *“en su sentido más moderno, CAD significa proceso de diseño que emplea sofisticadas técnicas gráficas de ordenador, apoyadas en paquetes de software para ayudar en los problemas analíticos, de desarrollo, de coste y ergonómicos asociados con el trabajo de diseño”*.³

¹Martínez Arroyo, René Ramón & Cárdenas Espinosa, Rodrigo Arturo. “Las ventajas e inconvenientes del CAD/CAM”. p. 44.

²Rojas L., Oswaldo & Salas B., Julio. “Producción automatizada de sistemas CAD/CAE/CAM”. p. 3.

³Hawkes, Barry. *CAD CAM*. p. 81.

El CAD es una herramienta de diseño en la que interviene una computadora y brinda al diseñador infinidad de posibilidades por medio de un ordenador, así existen programas de CAD que permiten modelar bidimensional o tridimensionalmente y es el punto de partida del CAM. El CAD permite diseñar a partir de elementos geométricos que posibilitan controlar las dimensiones de un objeto y a partir de esto lograr una calidad formal y estética.

6.2. CAM

CAM: Manufactura Asistida por Computadora (*Computer Aided Manufacturing*).

Para darnos una idea de lo que representa de un sistema CAM, podemos tomar la siguiente descripción de su función: *“Un sistema CAM provee información e instrucciones para la automatización de máquinas en la creación de partes, ensambles, y circuitos y de una manera más global es el uso de las tecnologías de cómputo en la planeación, administración y el control de la producción en una empresa”*.⁴

Otra forma de definirlo es la siguiente:

“Se entiende por CAM a la utilización de ordenadores para tareas técnicas y de gestión técnica en la fabricación y montaje, como la elaboración de planos de mecanizado, planos de amarre y de herramientas, incluyendo la programación de Control Numérico (CN). Su principal objetivo es proporcionar una serie de herramientas para completar la geometría (CAD) con el contenido tecnológico preciso para la fabricación de piezas”.⁵

Para Hawkes *“el CAM se refiere a cualquier proceso de fabricación automática que esté controlada por ordenadores”*.⁶

El CAM es la forma de manufactura que se auxilia de una ordenador, también se puede interpretar como la manufactura que emplea sistemas de control numérico operador por una computadora, por lo tanto, el CAM permite producir controlando las dimensiones de un objeto a partir del CAD y aporta la posibilidad de dar calidad formal y productiva a un proceso.

⁴Ramírez, Miguel. “La automatización del diseño“. p. 2.

⁵Cajal Carlos, Brozed Francisco & Casanova, Jesus. “Sistemas CAD-CAM”, p. 1-6.

⁶Hawkes, *CAD CAM*. op. cit. p. 83.

6.3. CAD-CAM

El CAD-CAM es la manufactura automatizada que depende del CAD en el proceso proyectual. Actualmente la mayoría de los programas de modelado CAD permiten el diseño paramétrico, durante este proyecto se trabajó con el programa Inventor 2013® de Autodesk®. Algunos de los paquetes comerciales de CAD-CAM más utilizados son los que se presentan en el cuadro 6.3.1 :

Anvil 5000	Edgecam	Master CAM	Solidworks
Anvil Express	Fast SOLD	Mechanical Desktop	Surfcam
Art CAM	GMS	NX	Teksoft
Camlink	Hypermill	Pro Manufacture	Unigraphics m.
Camworks	Inventor	Pro/Engineer	Vericut
CATIA	Maza Cam	Solid Edge	Work Nc

Cuadro 6.3.1: Rodríguez, S. 2014. Programas de CAD CAM.

6.4. Diseño paramétrico

Marrero y Martínez indican que: *se denomina diseño paramétrico a la resolución del problema de asignar la mejor combinación de valores posible a todos los parámetros necesarios para describir el objeto de diseño; y que para realizar diseño paramétrico con ayuda de CAD, primero debe formularse el problema de diseño, para luego transitar dentro de cada una de dichas etapas, interactivamente y a diferentes niveles, pasando por las fases de: generación, análisis, evaluación y comparación. El ciclo termina con la selección de la mejor alternativa, y es posible retroceder o saltar pasos en caso de que sea necesario.*⁷De la misma forma proponen un diseño paramétrico sistemático con objeto de trabajar ciclicamente y lograr el aprovechamiento de la parametría (ver figura 6.4.1) y también ilustran la composición del espacio de la actividad de diseño de manera gradual (ver figura 6.4.2). Por su parte Togores escribe: *el proceso de parametrización consiste en la especificación de puntos, líneas, curvas o superficies por medio de una o más variables que adoptan valores dentro de intervalos definidos por el usuario. El Modelado Paramétrico es un importante recurso para el diseño conceptual, ya que permite controlar con precisión las modificaciones del diseño.*⁸

⁷Marrero Osorio, Sergio Alfredo & Martínez Escanaverino, José, “Estrategia para el diseño paramétrico basado en modelos”. p. 38.

⁸Togores Fernández, Reinaldo. “Diseño paramétrico”. p. 2.

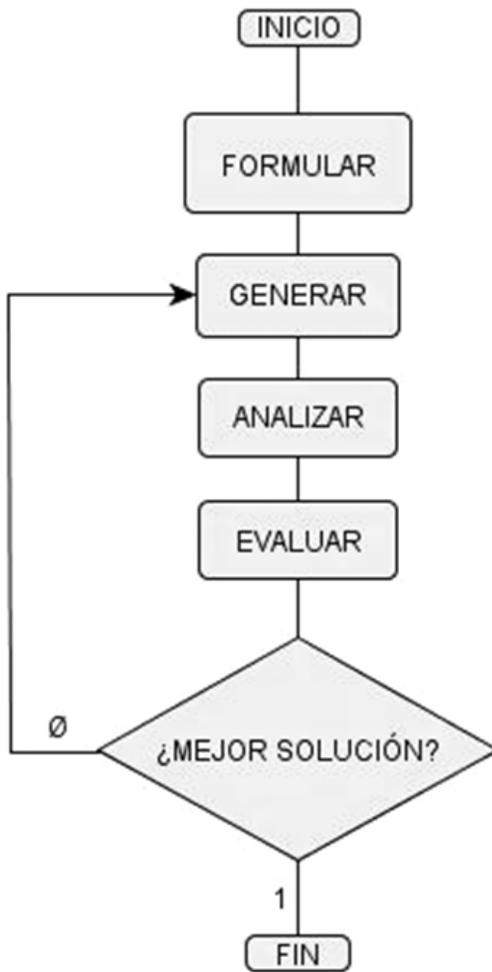


Figura 6.4.1: Martínez, R.R. & Cárdenas, R.A., 2006. Diseño paramétrico sistemático.



Figura 6.4.2: Martínez, R.R. & Cárdenas, R.A., 2006. Espacio de actividad del diseño.

Cuando se emplea el modelado paramétrico se potencia la posibilidad de examinar variantes sin la necesidad de rehacer cada vez el trabajo de representación, no obstante ello exige un cambio en los hábitos de trabajo del diseñador que debe incluir la definición de las relaciones de la lógica que hace coherente un diseño. Además de que dentro de este proceso de proyección se debe trabajar con un orden jerárquico a fin de poder controlar el modelo a futuro y lograr definir las variables dependientes e independientes del diseño.

Así, el diseñador opera de forma más controlada, esto no implica que se pierda la libertad creativa, sino que se cuenta con mayor alcance en el número de variables que puede visualizar en un diseño. Esto ha venido dándose, en mayor medida en el ramo arquitectónico (ver figura 6.4.3); actualmente, el diseño industrial y las nuevas artes han empleado estos procesos viéndose beneficiadas de ello. (ver imagen 6.4.4)



Figura 6.4.3: Hadid, Z. 2008. La estación de Lowenhaus, Innsbruck, Austria.

Por supuesto que no todos los diseños son factibles de desarrollo con modelado paramétrico, por ello es necesario hacer el análisis del diseño previo a su realización con modelado paramétrico, dicho análisis consiste en definir el valor numérico de las variables independientes y el valor aritmético de las variables dependientes. Así por ejemplo en la figura 6.4.5 tenemos el dibujo bidimensional de un cuadrado, donde la variable independiente es uno de los lados y la variable dependiente es el otro lado, por lo tanto la variable independiente tiene un valor número, en este caso 3 unidades, y la variable dependiente tiene un valor aritmético, que en este caso es representado por la igualdad del valor de la variable independiente. Otro recurso, más complejo es el análisis de elementos finitos.



Figura 6.4.4: Oxman, N. 2012. *Mythologies of the Not Yet*.

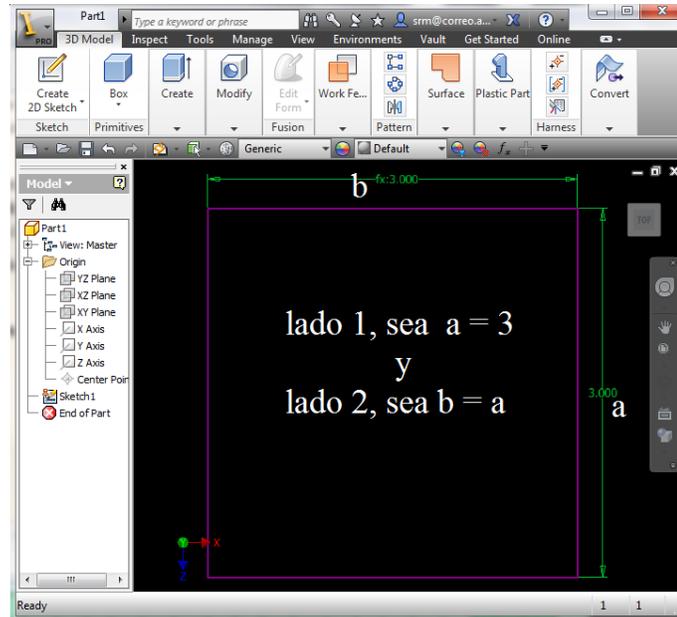


Figura 6.4.5: Rodríguez, S. 2014. Variables del modelo.

6.5. Análisis de elementos finitos

El método de los elementos finitos (MEF) permite resolver problemas ingenieriles, físicos, entre otros, pues puede resolver casos imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios pero en menor número, ya que puede acercarse más al diseño óptimo.

De acuerdo con Carnicero en cualquier sistema a analizar se deben distinguir tres aspectos principales (ver figura 6.5.1):

1. Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
2. Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, entre otros.
3. Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

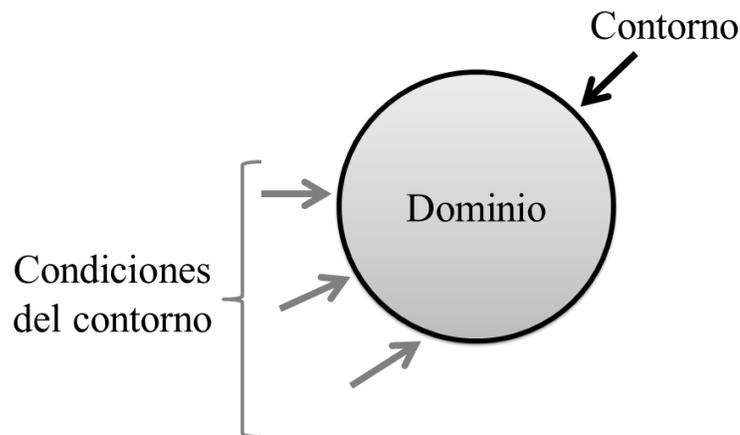


Figura 6.5.1: Rodríguez, S. 2014. Aspectos del sistema.

Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño CAD y las técnicas de fabricación o CAM.

6.5.1. Tipos de Elementos

El método de análisis de elementos finitos, se basa en seccionar los sistemas en elementos con objeto de dividir un problema para resolverlo a partir de estos sub problemas. A cada uno de ellos lo conocemos como elementos y los principales son elementos básicos, tales como la línea, el área, el volumen y las superficies (ver figura 6.5.2).

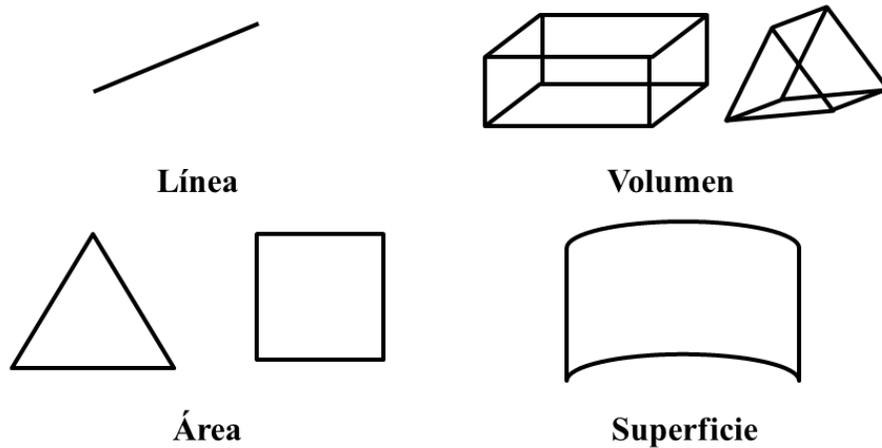


Figura 6.5.2: Alawadhi, E. 2010. Tipos básicos de elementos y superficie elemental.

6.5.2. Simetría

El primer paso en el análisis de elementos finitos es la discretización⁹ del sistema, por lo que ello se da a partir de sistemas simétricos; para llegar a esto, los sistemas de simulación parten de la geometría bidimensional y a partir de ella generan la tridimensionalidad. Los cuatro tipos de simetría que operan en un MEF, son axial, planar, cíclica y repetitiva (ver figura 6.5.3).

6.5.3. Simulación

Cuando se trabaja con elementos finitos, la principal función es realizar la simulación de un sistema real, esta simulación se puede dar en diversos tipos de sistemas, en el esquema 6.5.4¹⁰ se muestran los más comunes.

⁹La discretización es un proceso matemático mediante el cual vamos a obtener resultados aproximados del problema, éste puede ser una ecuación diferencial u otro tipo de operación. Fuente: http://webs.um.es/jmz/IntroFisiCompu/Alumnos/06_Pozo_de_Potencial/archivos/discretizacion.pdf

¹⁰Alawadhi Esam, M. *Finite element simulations using ANSYS®*. p. 72.

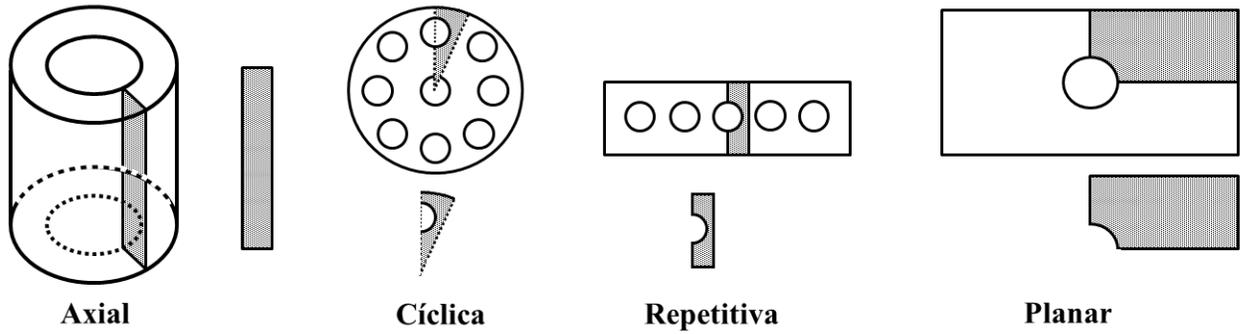


Figura 6.5.3: Alawadhi, E. 2010. Tipos de simetría.

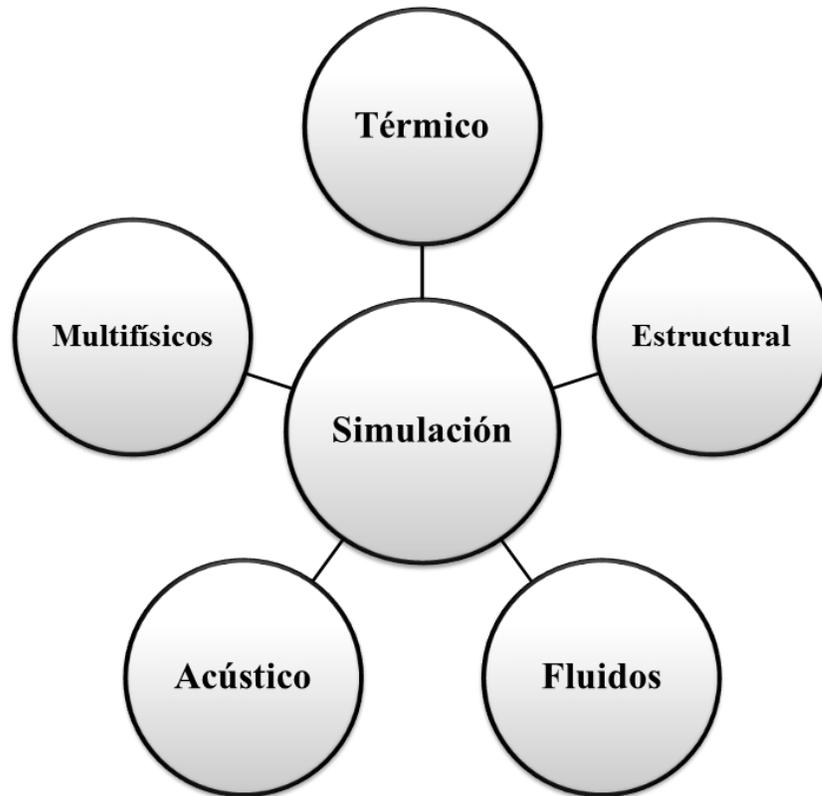


Figura 6.5.4: Basado en Alawadhi, E. 2010. Familia de sistemas de simulación.

Los sistemas aplicables a un proyecto con materiales cerámicos enfocado a la escultura monumental de mediano formato, son los estructurales, dentro de los que se pueden desarrollar distintos tipos de análisis, entre los que se encuentran los siguientes:

- Lineal
- Contacto
- Estático
- Dinámico
- Optimización topologica
- Geométrico y de materiales no lineales
- Transitoria, frecuencia natural, respuesta armónica, espectro de respuesta y vibración aleatoria

6.6. Ventajas del uso del CAD CAM

El resultado final del CAD-CAM es la aparición de un concepto nuevo llamado “fabricación flexible”. Se trata de uno de los desarrollos tecnológicos que conforman la idea de “fábrica del futuro”, cambiando los métodos actuales de fabricación hasta niveles no vistos desde la introducción de la energía mecánica en el siglo XVIII.

Las principales ventajas de uso del CAD CAM en el diseño son las siguientes:

- Automatización de los sistemas de producción.
- Estandarización de las dimensiones del producto.
- Calidad formal, dimensional y estructural.
- Versatilidad de productos.
- Simulación de líneas de producción.
- Prevención de defectos en productos y procesos.
- En el caso del uso de materiales cerámicos, se pueden visualizar las deformaciones mecánicas del material en los modelos.

Parte III

Diseño de módulos cerámicos como
base para el desarrollo de propuestas
artísticas

Capítulo 7

Desarrollo de la propuesta

7.1. Metodología

Para desarrollar la propuesta de este proyecto se trabajó con las metodologías de Fernando García¹, Fermín Navarrina² y Bruce Archer³ de acuerdo con el esquema que se presenta a continuación en la figura 7.1.4. De dichas metodologías se usó la de García para definir el problema de diseño a partir de la problematización (ver figura 7.1.1); se complementa con las de Navarrina y Archer en la etapa de desarrollo de la propuesta de diseño. Navarrina brinda una estructura operativa del proceso de diseño (ver figura 7.1.2) y por su parte Archer define el proceso de diseño como “seleccionar los materiales correctos y darles forma para satisfacer las necesidades de función y estética dentro de las limitaciones de los medios de producción disponibles”.⁴(7.1.3)



Figura 7.1.1: García, F., 2004. Etapas de la problematización.

¹Fernando García & Lucía T. García, *La problematización*, p. 20.

²Navarrina Fermín, “Una metodología general para optimización estructural en diseño asistido por el ordenador”. p. IV 14a.

³Bruce Archer, “Método sistemático para diseñadores”. *Design*, vol. 64.

⁴Archer, “Método sistemático...”, op. cit. vol. 64.

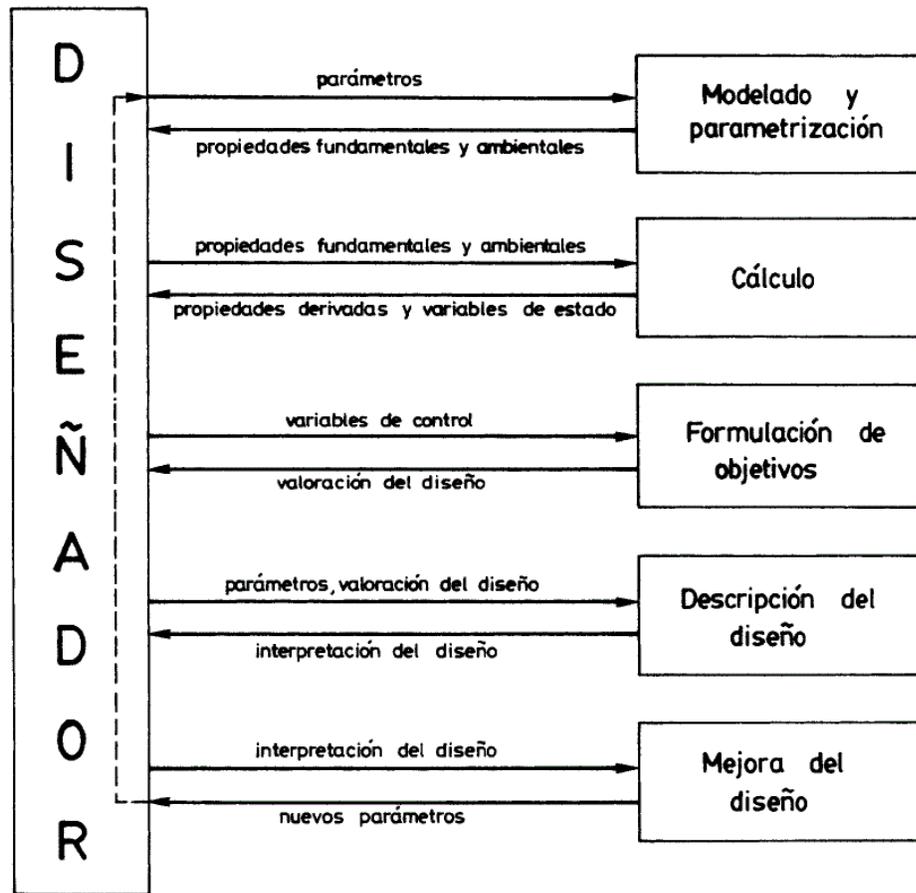


Figura 7.1.2: Navarrina, F., 1987. Estructuración operativa del proceso de diseño; relaciones y transmisión de información entre los diversos niveles.

7.2. Definición del problema

De acuerdo con Fernando García, la mejor forma para definir un problema objeto de investigación es identificar los siguientes aspectos: tiempo, costo o inversión, cliente o usuario, acceso a la información, riesgo, calidad, y cambio o variabilidad. Así García menciona que tomando como antecedente la definición de los aspectos antes mencionados, se continúa con la concreción del problema a partir de definir el contexto:

1. Los objetos de estudio que se señalan.
2. Los aspectos del objeto de estudio que se refieren.
3. Las relaciones o vínculos entre tales objetos y aspectos.

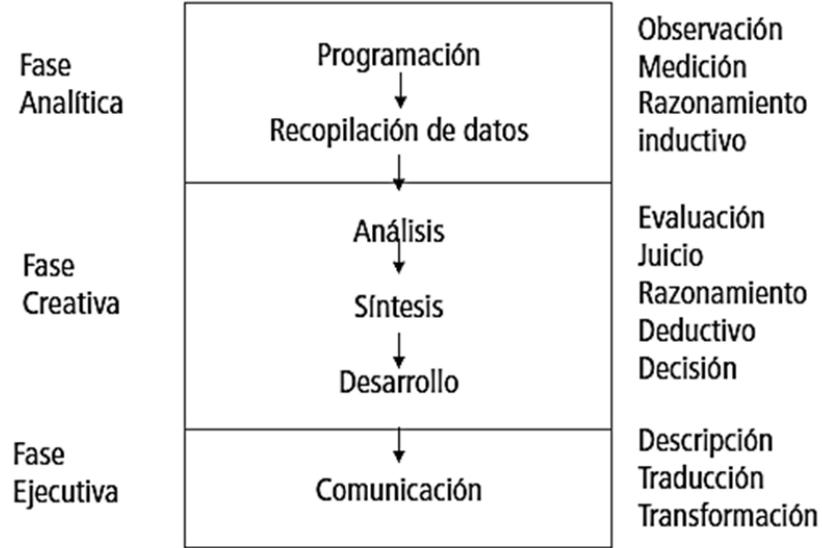


Figura 7.1.3: Archer, B., 1963. Metodología del diseño.

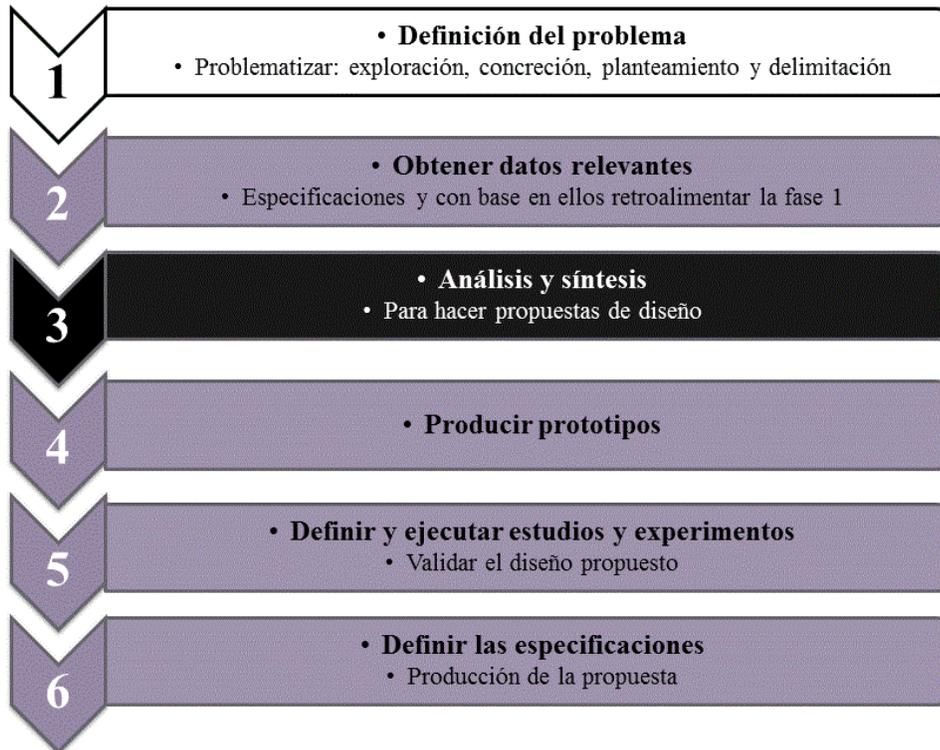


Figura 7.1.4: Rodríguez, S. 2014. Metodología desarrollada con base en García, Navarrina y Archer.

4. El área o áreas de conocimiento a que corresponden.
5. Los problemas básicos y los subordinados.

De los aspectos antes planteados, con los puntos 1 al 3 se presenta el esquema 7.2.1, que representa el mapa de estudio teórico para la realización de este proyecto, donde la escultura es el objeto de estudio central y el CAD-CAM y la cerámica son aspectos secundarios o de menor jerarquía pero con el mismo peso entre sí.

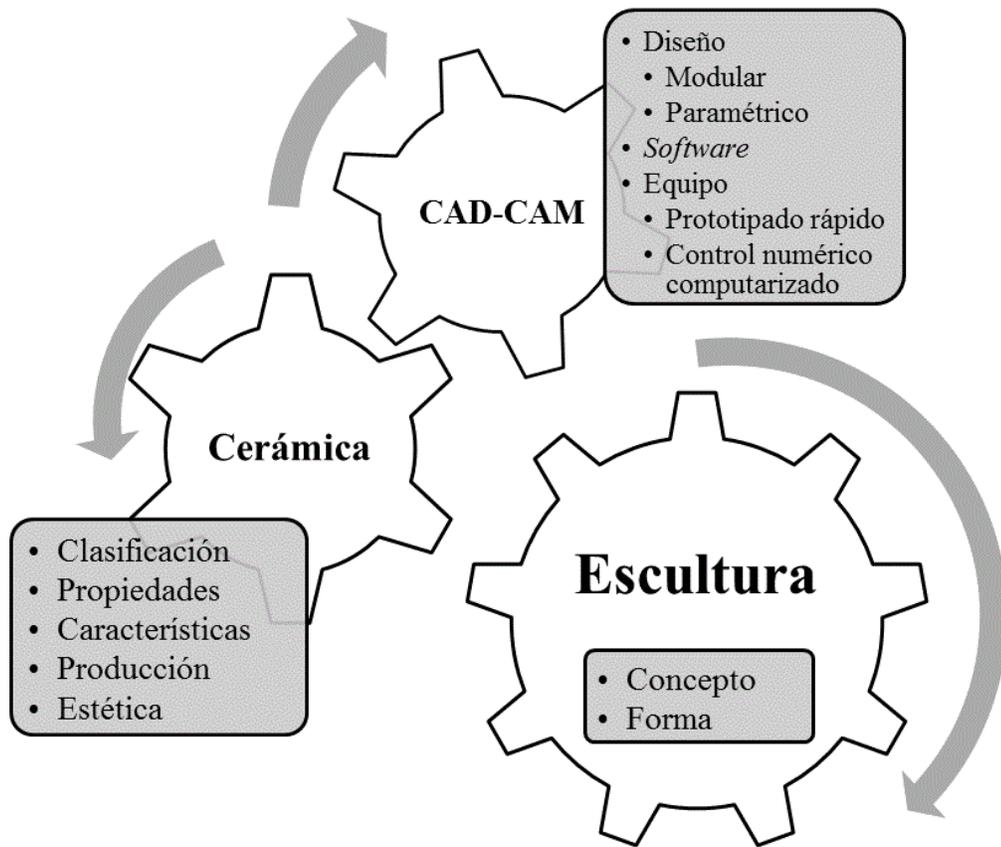


Figura 7.2.1: Rodríguez, S. 2013. Mapa del objeto de estudio.

Continuando con los aspectos antes propuestos, el área de conocimiento es el diseño, específicamente el **diseño asistido por computadora (CAD)**.

De esta manera el problema queda definido:

Cómo aprovechar el diseño paramétrico para la conformación de objetos cerámicos modulares, que sirvan de base en el desarrollo de propuestas escultóricas de carácter monumental.

Y los problemas básicos son los siguientes:

- Los parámetros de lo artístico que intervienen en la producción escultórica.
- Los alcances del CAD-CAM en su aplicación con materiales cerámicos.
- La simulación de prototipos y su viabilidad.
- La selección de materiales cerámicos.
- Los requerimientos para la producción de la obra artística.

7.3. Análisis de datos

7.3.1. Consideraciones para el diseño de modelos en CAD

Los sistemas de CAD tienen como objetivo principal disminuir parcial o totalmente las dificultades operativas que se presentan al diseñar, automatizando gran parte de ellas a excepción de la toma de decisiones. Ello permite realizar un mayor número de mejoras o propuestas para un diseño, disponiendo además de mejor información en la toma de decisiones. Sin embargo, la toma de decisiones suele ser de una alta complejidad y el usuario del sistema de CAD debe basarse primordialmente en su intuición y experiencia.

Para realizar un modelo en CAD tridimensional (3D) partimos del modelado bidimensional (2D), podemos realizar los siguientes pasos:

1. Para obtener un modelo 3D, a partir de una de las dos vías que se muestran a continuación:
 - a) Tazo en 2D ó 3D.
 - b) Escaneo de un objeto 3D, ya sea por medio de un escáner 3D o con imágenes digitales.
2. Dibujo y reconstrucción del perfil en formato 2D en el programa CAD; cabe mencionar que incluso en el proceso de escaneo aunque se pueda obtener directamente un modelo CAD, éste también se debe revisar y corregir si fuese necesario de acuerdo con lo requerido en el modelo (ver figura 7.3.1).
3. Creación del sólido por extrusión o revolución (ver figuras 7.3.2).

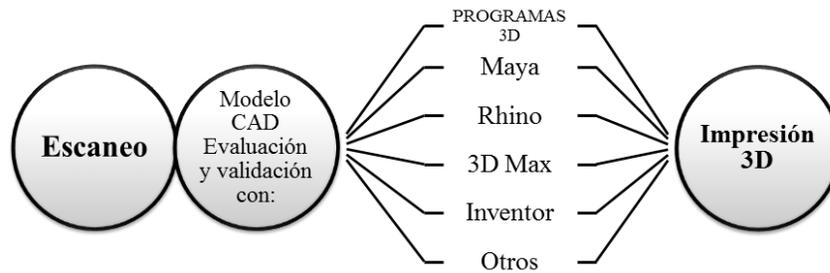


Figura 7.3.1: Rodríguez, S. 2014. Obtención del Modelo CAD a partir de escaneo para impresión 3D.

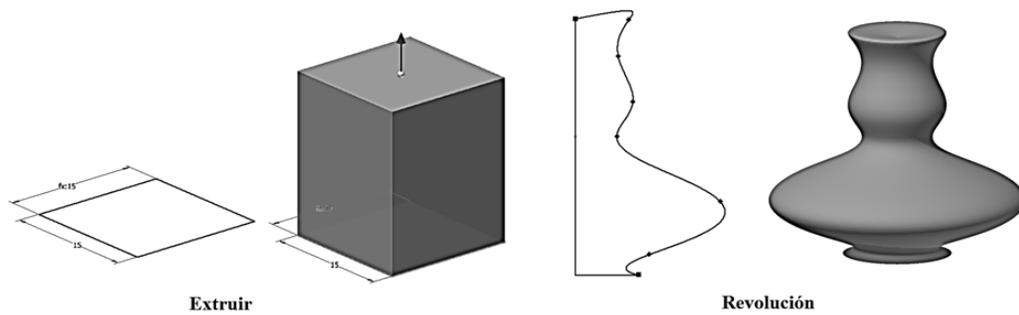


Figura 7.3.2: Rodríguez, S. 2014. Formas básicas de crear volumen 3D.

4. Parametrizar las dimensiones de los modelos. Esto de acuerdo con las medidas y/o parámetros geométricos del objeto; siempre es recomendable realizar los dibujos bidimensionales tratando de generar la mínima expresión geométrica del objeto, así por ejemplo la mínima expresión de un círculo es una curva (ver figuras 7.3.3 y 7.3.4), ya que por medio de CAD se logra realizar el dibujo a partir de proyectar una forma desde su simetría o de un patrón de reproducción circular o rectangular, según lo que se requiera.

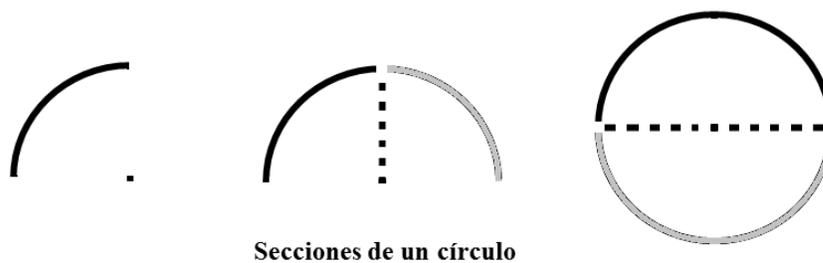


Figura 7.3.3: Rodríguez, S. 2014. Expresión mínima de un círculo.

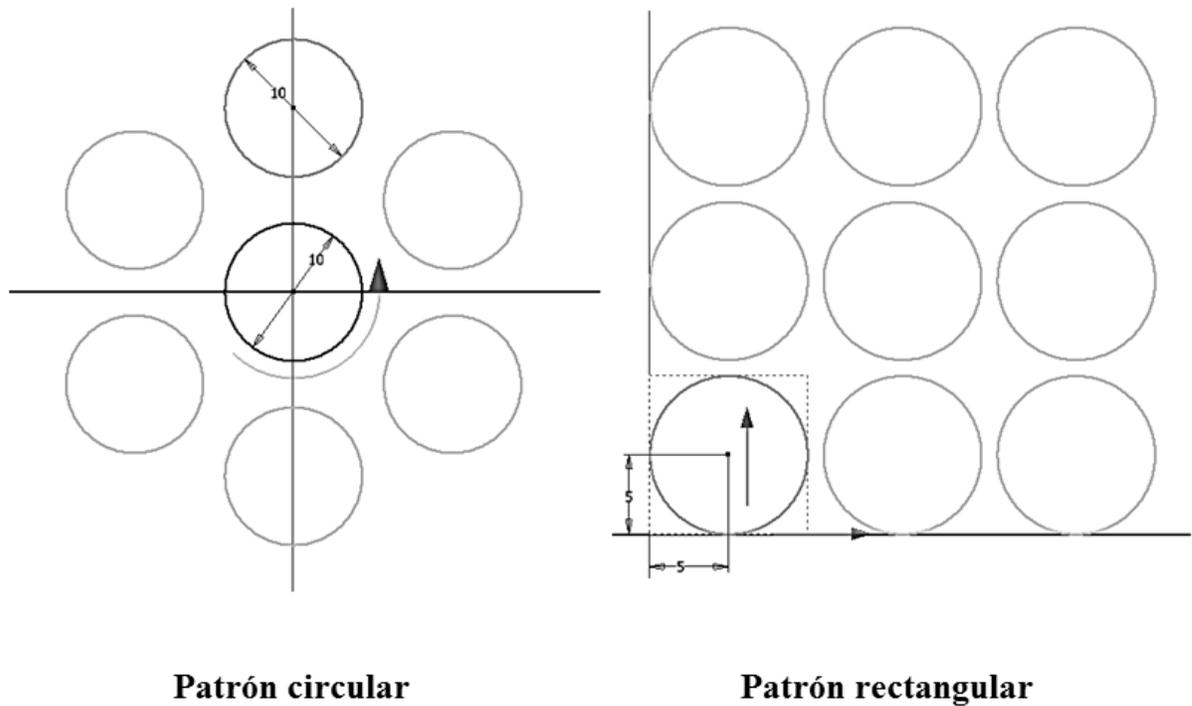


Figura 7.3.4: Rodríguez, S. 2014. Patrones de reproducción.

7.3.2. Consideraciones del diseño paramétrico

De acuerdo con Sergio Marrero y José Martínez, el diseño paramétrico consiste en “*transformar la descripción primaria de un problema en una nueva descripción de cierto conjunto de objetos que, adecuadamente vinculados y puestos en funcionamiento, han de resolver el problema inicial*”.⁵

Tomando en cuenta este argumento, se genera un diseño conceptual y un diseño detallado. En el diseño conceptual se define el problema de diseño que en este caso es **diseñar un módulo tridimensional que permita su crecimiento libremente en el espacio geométrico**, donde de los tres ejes X, Y y Z, generan doce espacios geométricos o cuadrantes, ésto se muestra a continuación en la figura 7.3.5.

Así, el concepto es **movilidad** en los ejes X, Y y Z.

Para definir los detalles del diseño es necesario contar con un modelo matemático, que describa el diseño por medio de ecuaciones. Dichas ecuaciones permiten identificar las características tanto dimensionales como geométricas del modelo.

⁵Marrero Osorio, Sergio Alfredo & Martínez Escnaverino, José, “Estrategia para el diseño paramétrico basado en modelos”. p. 40.

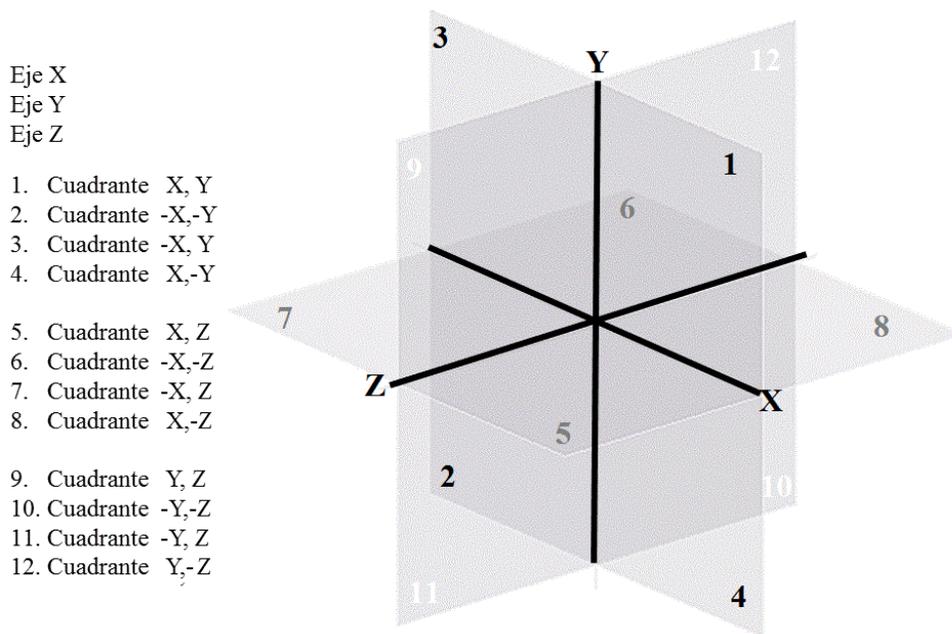


Figura 7.3.5: Rodríguez, S. 2014. Espacio geométrico XYZ.

Así por ejemplo, una línea recta está definida por su valor numérico longitudinal y su ubicación en el espacio geométrico (ver figura 7.3.6). De esta manera el diseño, en la medida de su complejidad puede tener más parámetros; el caso que sigue en el orden de nivel de complejidad es un espacio delimitado bidimensional, como una figura geométrica (sea un triángulo, cuadrado, pentágono, etc.) y en tercer orden, tenemos los objetos tridimensionales (tetraedro, hexaedro, octaedro, etc.).

7.3.3. Consideraciones del análisis de elementos finitos

De acuerdo con Alberto Carnicero:

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado⁶ en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide.⁷

⁶Discretización: Proceso que transforma datos cuantitativos en datos cualitativos. Fuente: <http://academic.uprm.edu/~eacuna/dm4.pdf>

⁷Alberto Carnicero, “Introducción al método de los elementos finitos” p.5.

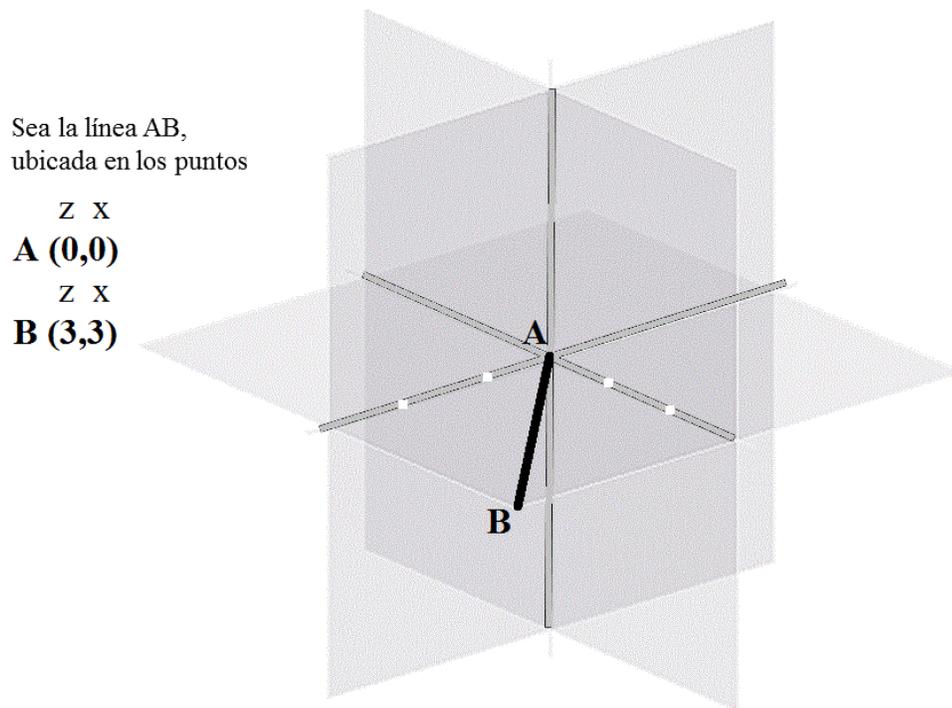


Figura 7.3.6: Rodríguez, S. 2014. Línea ubicada en el espacio tridimensional.

Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En este caso de elementos estructurales las incógnitas son los desplazamientos nodales entre los módulos de acuerdo al acomodo, ya que a partir de éstos se puede calcular el resto de incógnitas tales como: tensiones, deformaciones, fractura, etc. Las incógnitas se denominan grados de libertad (variabilidad) de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

El problema de diseño se formula por medio de una matriz, pues ello permite la manipulación de datos en el programa de CAD. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento, en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, se ensamblan y se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema.

Dado el diseño, éste se debe discretar y definir la matriz de variabilidad a partir de los elementos identificados en el proceso de discretización (ver figura 7.3.7).

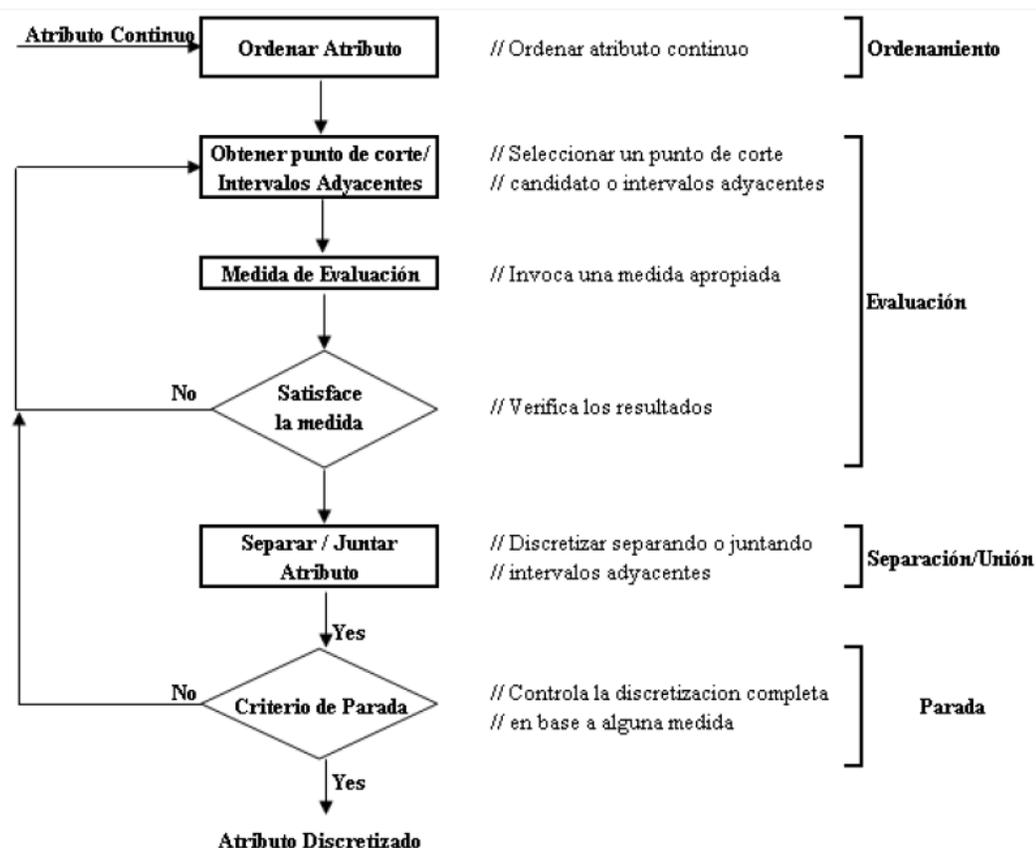


Figura 7.3.7: Acuña, E. 2011. Técnica de discretización de An enabling technique. Liu et al. DM and KDD - 2002.

7.3.4. Consideraciones de la impresión 3D

Los lineamientos que se describen a continuación son producto de la experimentación realizada en el laboratorio de Materialización 3D y control numérico de la división de CyAD⁸ de la UAM Azcapotzalco, donde se trabajó con una impresora de ZCORPORATION modelo Zprint310, misma que opera con el programa ZEDIT (ver ANEXO B).

1. Se debe modelar en un programa de CAD que permita la conversión a formato **STL**⁹. En este caso se trabajó con el programa Inventor 2013® y éste permite hacer dicha

⁸CyAD: Ciencias y Artes para el Diseño

⁹Los denominados archivos de estereolitografía (.stl) que se concibieron como una manera sencilla de guardar información sobre objetos 3D y cuyo uso principal es la creación de prototipos físicos desde diseños generados en un ordenador o desde datos 3D procesados. Este tipo de archivo (.stl) utiliza una malla de pequeños triángulos denominados facetas sobre las superficies para definir la forma del objeto. Fuente: http://aeipro.com/files/congresos/2011huesca/CIIP11_2133_2146.3403.pdf

conversión; otro formato con el que se puede trabajar con un archivo FBX®¹⁰.

2. Definir si el producto es molde o modelo. Para este proyecto se propuso imprimir directamente el modelo y no el molde, aunque ésto lo determina la forma del modelo.
3. Definir si la producción será indirecta o directa. Debido a que las impresoras con que se cuenta en el laboratorio, imprimen en material cerámico mezclado con resina, la producción es indirecta y tomando en cuenta que la propuesta de diseño es escultura modular en cerámica, con este proceso no se propone una producción directa. La limitante para este efecto es la impresora y no el modelo, la ventaja de realizar producción indirecta radica principalmente en poder modificar los acabados de las piezas y lograr una gama muy amplia de tonalidades en los módulos cerámicos e incluir acabados artísticos.
4. El modelo debe tener un mínimo de 2.0 mm de espesor en cualquiera de sus paredes o secciones. En este sentido se debe contemplar que las formas rectas que presenten aristas, deben ser corregidas o boleadas, debido a que las esquinas por su naturaleza formal siempre van a terminar dimensiones menores a 2 mm (ver figura 7.3.8).

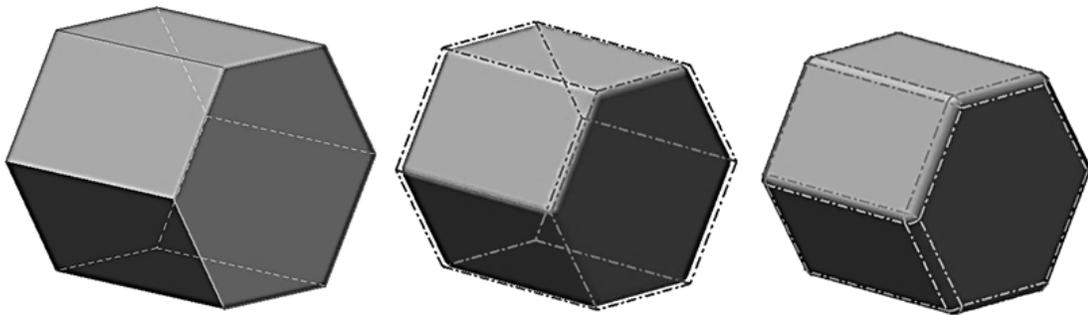


Figura 7.3.8: Rodríguez, S. 2014. Correcciones en las aristas de dos modelos CAD para impresión.

5. En caso de ser un objeto hueco, la forma debe contar con cavidades extra o que formen parte de la pieza que permitan la salida de materia excedente.
6. Se deben contemplar operativamente 3 días para imprimir el modelo.
7. El modelo debe ajustarse a las dimensiones 203 x 254 x 203 mm (8x10x8 in.) que es la capacidad del área de impresión. Es recomendable también, en términos de operación, planear una serie de producción del modelo optimizando el consumo de insumos del equipo de prototipado rápido. Esto quiere decir que se deben colocar los modelos

¹⁰FBX es un formato de archivo 3D independiente de la plataforma de Autodesk®, que proporciona acceso al contenido creado en cualquier paquete de software. Proporciona intercambio universal de recursos 3D, removiendo las barreras para la compatibilidad de datos y brindando a los usuarios la libertad para construir las estructuras más eficaces. Fuente: <http://latinoamerica.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=7411870&id=11278653>

ocupando la mayor parte del área de impresión y su posición debe seguir una secuencia lógica y ordenada del aprovechamiento del espacio e incluso se sugiere tratar de saturar con el mayor número de modelos posibles, ello también reducirá el tiempo a la hora de retirar los modelos del banco de impresión.

7.4. Propuestas de diseño

7.4.1. Proceso de diseño

De acuerdo con el Modelo General del Proceso de Diseño (MGPD) de la UAM Azcapotzalco (ver figura 7.4.1), se realizaron algunas propuestas a partir de un análisis de productos existentes (ver ANEXO D). Con base en el criterio de clasificación de acuerdo con el uso, donde se detectan los siguientes usos: decoración para exteriores, mosaico decorativo de usos múltiples, mural escultórico y usos diversos como cortinas de cerámica, escultura, estantería y jardinería.

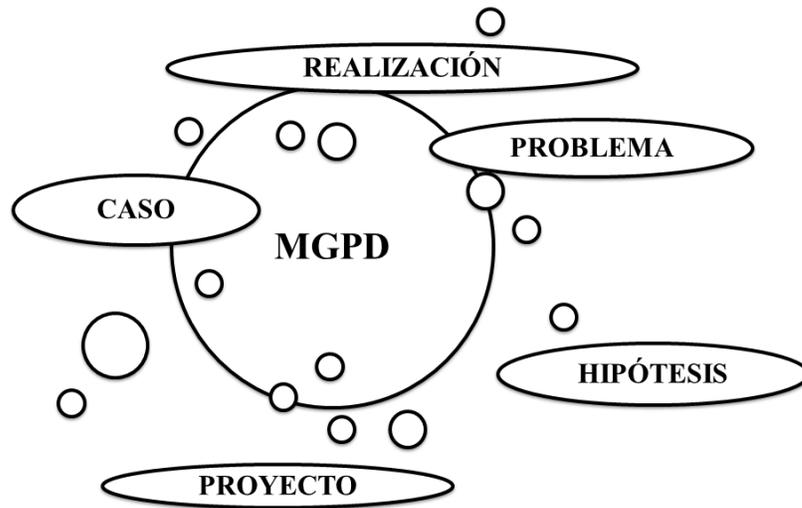


Figura 7.4.1: Modelo General del Proceso de Diseño de la UAM - Azcapotzalco.

De dicho análisis se identificaron las características sobresalientes de los productos modulares de materiales cerámicos que se presentan en el cuadro 7.4.1 y de acuerdo con estos datos se desarrollaron las propuestas de diseño. Así podemos extraer las características del universo de estudio, revisando los variables más y menos comunes y observando que se presentan un total de 54 posibles variables para el desarrollo de la propuesta.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	DESCRIPCIÓN	DATOS		
		MÁS USADO	MENOS USADO	NÚMERO DE VARIABLES
APARIENCIA	Color	Blanco	Naranja	10
	Acabado	Brillante	Mate	2
GEOMÉTRICAS	Forma	Hexagonal o Triangular	Otras	13
	Geometría	Simétrico	Regular en primer plano e Irregular en segundo y tercer planos	5
MODULARIDAD	Acomodo	Las aristas tienen la misma longitud	Otros	15
	Desarrollo	Horizontal	Apilamiento	5
	Número de diseños	Uno	Seis	4

Cuadro 7.4.1: Rodríguez, S. 2013. Resumen de características de productos análogos.

7.4.2. Bocetos 2D

De las propuestas desarrolladas con este método de diseño se tienen siete alternativas, que son producto de imágenes bidimensionales que se pueden llevar al modelado tridimensional por extrusión (ver figura 7.4.2).



Figura 7.4.2: Rodríguez, S. 2013. Modelos bidimensionales.

Este análisis formal permito desarrollar algunas propuestas de diseño (ver figura 7.4.3).

7.4.3. Bocetos 3D

Tomando en cuenta que el producto final de este proyecto se propuso en materiales cerámicos, se desarrollaron una serie de modelos en un material que simula la plasticidad del barro, así se obtienen maquetas con formas suaves y orgánicas que se transferirán al modelado CAD (ver figura 7.4.4).

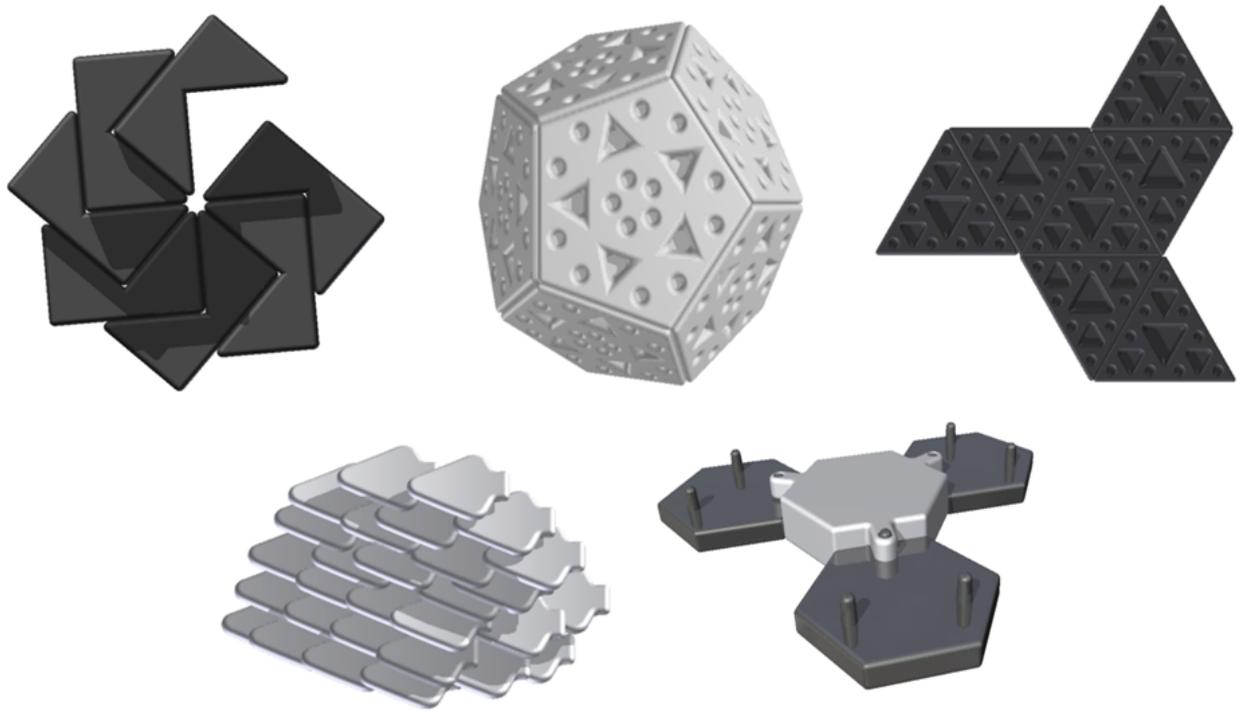


Figura 7.4.3: Rodríguez, S. 2013. Propuestas de diseño basadas en análisis de productos existentes y análogos, modelados en CAD, Inventor 2013®.



Figura 7.4.4: Rodríguez, S. 2014. Modelos en plastilina.

7.4.4. Bocetos CAD

De los bocetos 3D se hace una selección de acuerdo a sus características formales y se procesan por medio de CAD. Estos modelos responden a la necesidad de generar formas con mayor calidad a partir de dar parámetros geométricos en el programa seleccionado; sin embargo, son desarrollados como mero ejercicio de experimentación con el fin de identificar la certeza de la versatilidad del uso de CAD en el proceso de generación de alternativas de diseño (ver figura 7.4.5).

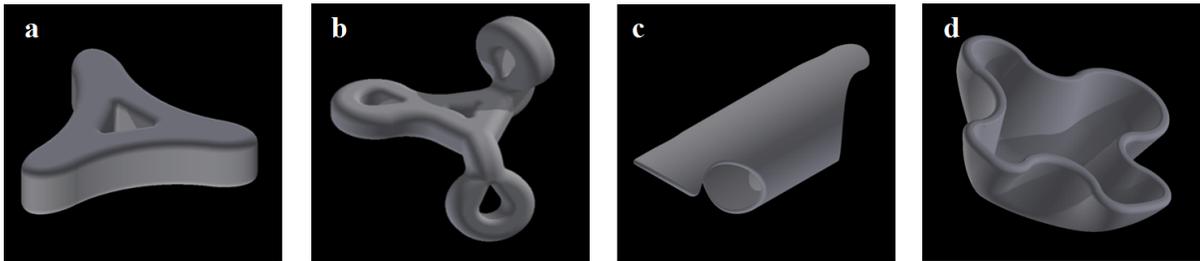


Figura 7.4.5: Rodríguez, S. 2014. Modelos CAD, basados en maquetas de plastilina.

De los cuatro modelos ya desarrollados en CAD, fue seleccionada el “b” de acuerdo con sus características formales, tales como simetría y las posibilidades de ensamblaje y movilidad en el espacio tridimensional. De la propuesta elegida se desarrollan unas maquetas en material sólido con el fin de confirmar su versatilidad de movimiento.

El modelo sufre modificaciones para llegar a una propuesta que cumpla con las necesidades de modulación escultórica y que al mismo tiempo se pueda producir en materiales cerámicos, en la figura 7.4.6 se muestran las variantes desarrolladas del modelo con modelado paramétrico. Como ejemplo de modelado paramétrico, a continuación en el cuadro 7.4.2 se muestran los datos modificados para obtener variantes de uno de los modelos ya desarrollados; en la figura 7.4.7 se pueden ver dichas modificaciones en el modelo.

En esta muestra se puede apreciar que de un objeto con sólo modificar uno o dos valores, se obtienen un gran número de posibilidades del diseño, en este modelo en particular se cuenta con un total de 6 variables independientes y aproximadamente 30 variables dependientes, por lo que de acuerdo a los rangos establecidos para cada una de las variables dependientes se determina el número de posibles modelos, en la figura 7.4.8 se describe cómo operan las ya mencionadas variables dependientes e independientes.

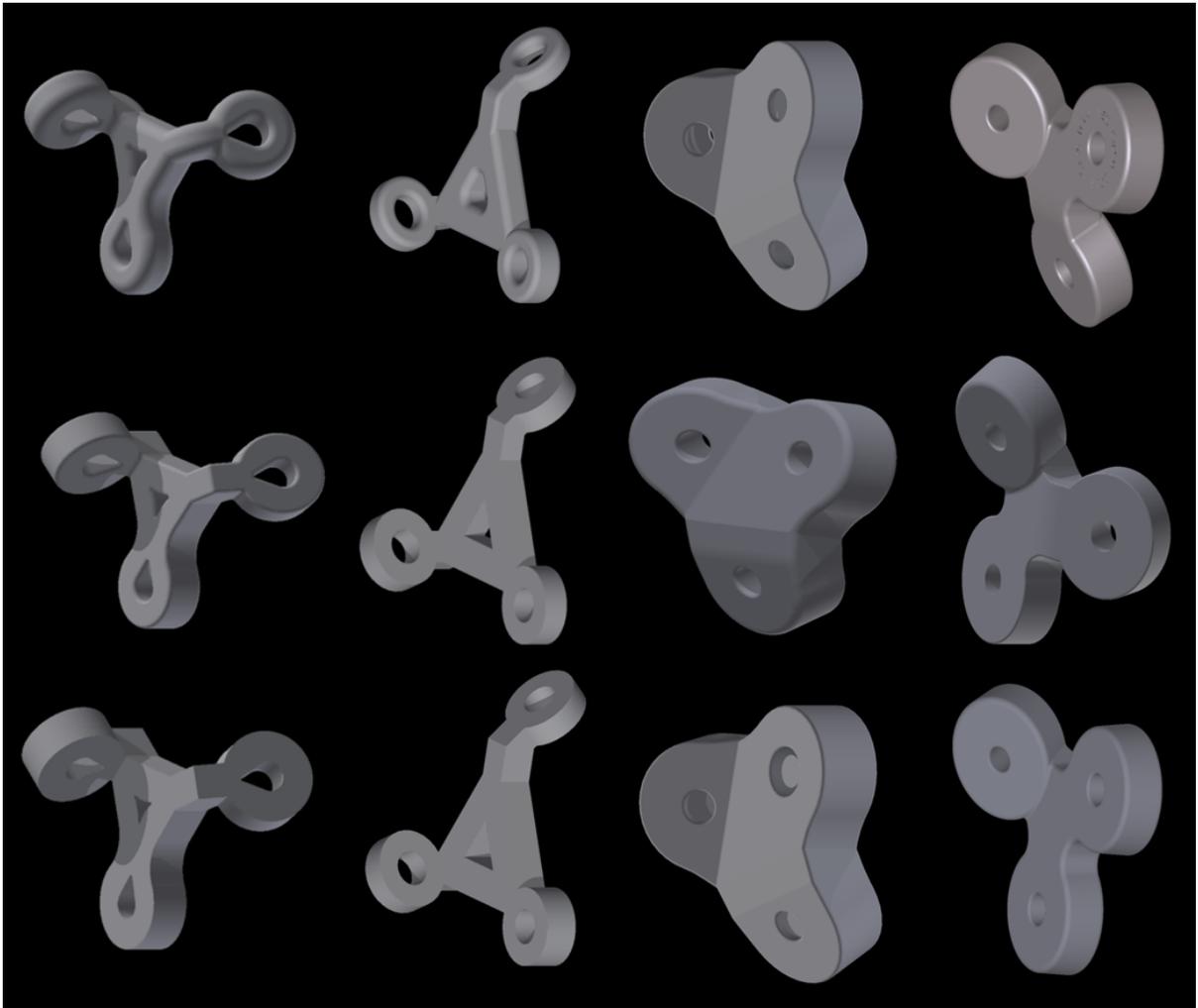


Figura 7.4.6: Rodríguez, S. 2014. Modificaciones el modelo “b”.

MODELO	VARIABLES		
	d7	d 13	d 35
1	5 mm	5 mm	30.00 deg (<)
2	15 mm	15 mm	30.00 deg (<)
3	25 mm	25 mm	30.00 deg (<)
4	15 mm	15 mm	25.00 deg (<)
5	15 mm	15 mm	20.00 deg (<)

Cuadro 7.4.2: Rodríguez, S. 2014. Cuadro de variables paramétricas.

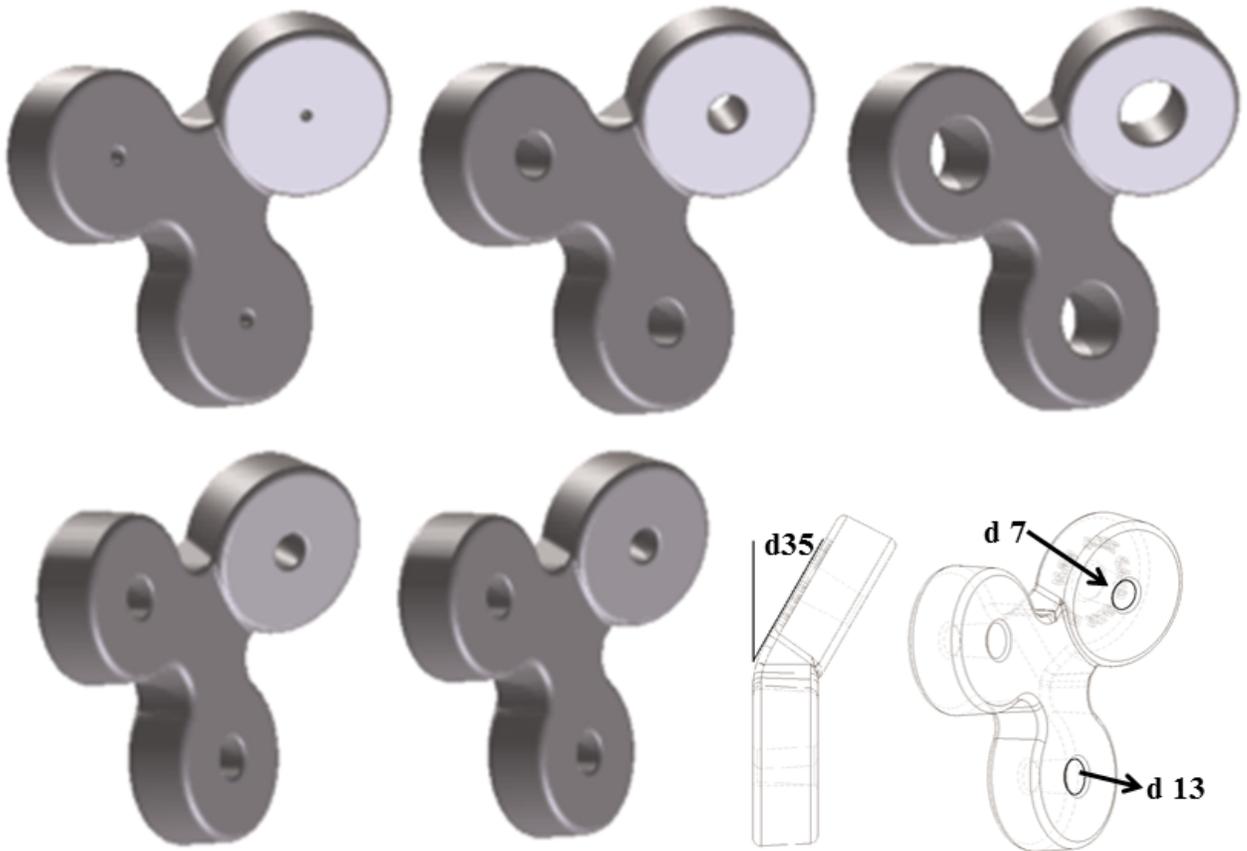


Figura 7.4.7: Rodríguez, S. 2014. Modelo b, aplicación de modelado paramétrico.

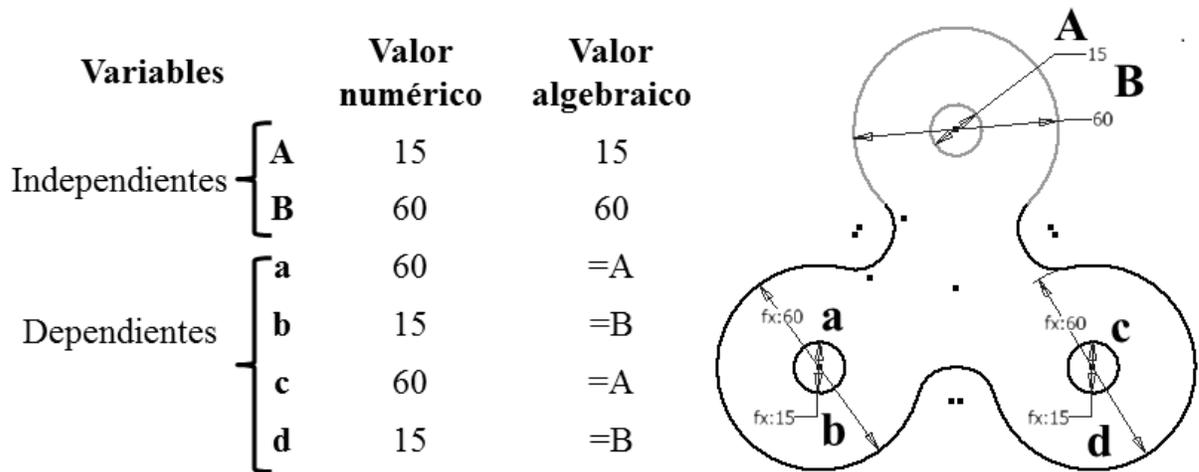


Figura 7.4.8: Rodríguez, S. 2014. Ejemplo de variables dependiente e independientes.

7.5. Producción del prototipo e impresión

De acuerdo con Pilar Ramírez y Jaime López¹¹, “ASTM define el término **fabricación aditiva** como “el proceso de unir materiales para fabricar objetos 3D a partir del modelo CAD 3D, normalmente capa sobre capa, en oposición a las metodologías sustractivas de fabricación”.

Así, las tecnologías de fabricación aditiva, son diversas (ver cuadro 7.5.1); El prototipo de este proyecto se realizó en 3DP (ver ANEXO C), debido a que se realizaron pruebas de escaneo de objetos cerámicos y no se lograron acabados lisos, aunque la textura obtenida en el proceso de escaneo puede aportar valor expresivo al modelo, en este ejercicio de experimentación la intención es simplificar el proceso de modelado; cabe mencionar que otra de las razones por las que se realizó el modelo de esta forma, fue por la geometría del mismo y el nivel de precisión que requerían los ángulos de salida y los ángulos de inclinación de las secciones del modelo, además de que fue deseable obtener un objeto con los beneficios del CAD en términos de geometría y calidad. Sin embargo, la forma de llegar al modelo CAD puede variar y el resultado no será modificado, puesto que un modelo CAD, no es modificado en el proceso de impresión.

Se seleccionaron dos de los modelos desarrollados y con éstos se propone parametrizar el acomodo y número de piezas para llegar al planteamiento escultórico. 7.5.1 y 7.5.2).

7.6. Selección de materiales

Para seleccionar el material óptimo de acuerdo con Emilio Galán y Silvia Aparicio¹², se especifican los siguientes aspectos: tipo de producto, propiedades, proceso de fabricación y uso del producto (ver cuadro 7.6.1).

De acuerdo con las características del cuadro 7.6.1, y tomando como base los datos proporcionados por Miguel Cantavella¹³ (ver figura 7.6.1, cuadro 7.6.2 y esquema 7.6.2), se seleccionó la pasta cerámica estándar de alta temperatura o gres porcelánico indicada por Cantavella, en el cuadro 7.6.3 se muestra la composición base desarrollada de forma experimental con materiales de origen nacional.

¹¹Ramírez López-Paray, Pilar & López Soto Jaime, “Tecnologías aditivas, un concepto mas amplio que el de prototipado rápido”, p. 2134.

¹²Galán & Aparicio, “Materias primas...”,op.cit. p.37.

¹³Miguel Cantavella Escrig, “Composiciones de pastas cerámicas”. p. 224.

FABRICACIÓN ADITIVA	
TECNOLOGÍAS EXISTENTES	SLA Estereolitografía SLS Selective Laser Sintering DMLS Direct Metal Laser-Sintering DMD Direct Metal Deposition FDM Fused Deposition Modeling LOM Laminated Objected Manufacturing 3DP 3-Dimensional Printing DLP Digital Light Processing Sistemas de inyección de polímero
APLICACIONES POSIBLES	Prototipado rápido Modelos conceptuales, prototipos funcionales Prototipos técnicos Rapid tooling (Fabricación rápida de herramienta) Direct Tooling: no hay necesidad de modelos Indirect Tooling: puede incluir un modelo generado por prototipado rápido y un proceso secundario de transferencia de material Rapid Manufacturing (Fabricación rápida) Productos finales 3D Desktop Printers (impresoras 3D de escritorio)

Cuadro 7.5.1: Ramírez & López, 2011. Fabricación aditiva: tecnologías y aplicaciones.



Figura 7.5.1: Rodríguez, S. 2014. Modelos seleccionados “módulos b, 4 y 5”.



Figura 7.5.2: Rodríguez, S. 2014. Modelos impresos en 3D “módulos b, 4 y 5”.

Aspectos	Tipo de producto	Propiedades	Proceso de fabricación	Uso del producto
Proyecto	Módulo cerámico hueco	Alta resistencia mecánica	Modelo impreso en 3D	Escultura
		Dureza	Molde de yeso	Exterior
		Resistencia a cambios de temperatura ambiente	Pasta para vaciado	Interior

Cuadro 7.6.1: Rodríguez, S. 2014. Aspectos indicados por Galán y Aparicio, para la selección de materiales.

El material sugerido para la propuesta es de alta resistencia y ello le proporciona cualidades funcionales a la escultura lo que permite su colocación en exteriores sin sufrir daños significativos, es importante señalar que los acabados prolongan el tiempo de vida de la escultura e incrementan su versatilidad expresiva.

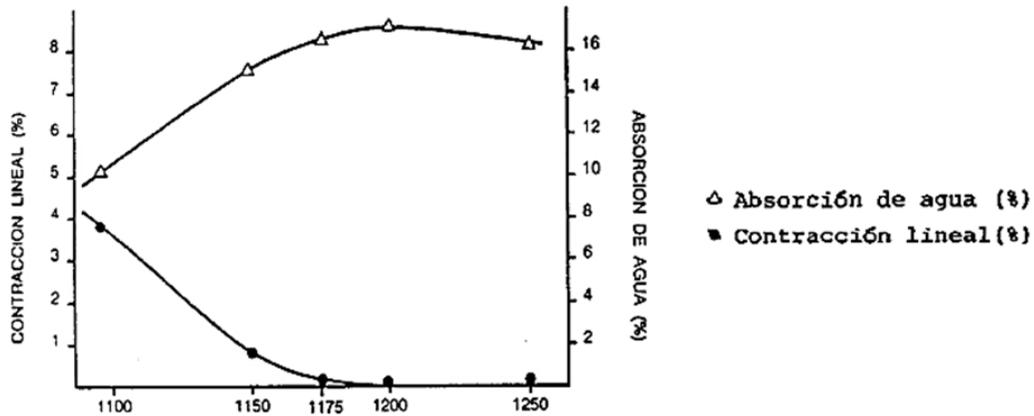


Figura 7.6.1: Cantavella, E. 2007. Diagrama de cocción de gres preelánico.

	DEFLOCULACIÓN		CONFORMADO	RESIST. MECÁNICA	T ^a COCCIÓN	CONTR. LINEAL	DUREZA
	CONTENIDO EN SÓLIDOS	DEFLOC.	DENSIDAD APARENTE				
ARCILLA	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑
FELDESPATO	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓
ARENA FELDESPÁTICA	↑	↓	↑↑	↓	↑	↓	↑↓
TALCO, DOLOMITA,...	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↓	↑↓	↑↓

Cuadro 7.6.2: Cantavella, E. 2007. Comportamiento de la pasta de gres porcelánico, con relación a sus componentes.

7.6.1. Muestrario de acabados

Se realizan pruebas con aplicación de acabados vidriados con la formula descrita en el cuadro 7.6.3, desarrollada por Christine Constan y Steve Ogden¹⁴.

Como producto secundario de esta tesis, con apoyo de los laboratorios de fisicoquímica de la división de CBI¹⁵ de la UAM Azcapotzalco y en colaboración con Carlos E. Hernández, se realizó un muestrario de esmaltes cerámicos (ver figura 7.6.4).

¹⁴Christine Constan & Steve Ogden, *La paleta del ceramista*, p.9.

¹⁵CBI: Ciencias Basicas e Ingeniería

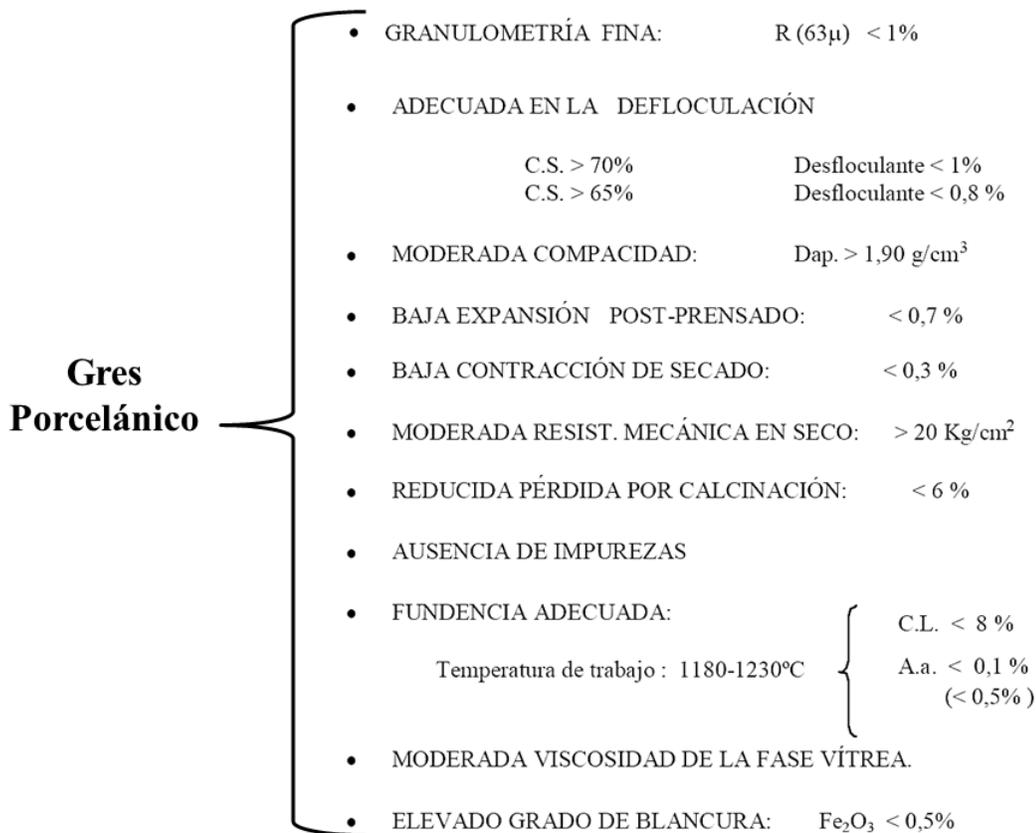


Figura 7.6.2: Cantavella, E. 2007. Especificaciones del gres porcelánico.

Material	% en la fórmula
Arcillas refractarias nacionales (Zacatecas)	35 – 55
Feldespatos	40 – 50
Arenas feldespáticas	0 – 10
Talcos y cargas* (chamota)	0 – 30
Otros (bentonita, pigmentos, silicato de circonio, alúmina)	0 - 6

* Se agregan con objeto de reducir coeficiente de contracción y costo.

Cuadro 7.6.3: Rodríguez, S. 2014. Composición base de gres porcelánico, con base en lo realizado por Cantavella.

ESMALTE ALCALINO (II)		ESMALTE DE FELDESPATO POTÁSICO/CINC/CALCIO	
Temp. 1060°C/cono 02a		Temp. 1300°C/cono 10	
Peso en seco (%)		Peso en seco (%)	
Frita de alto contenido alcalino	60	Feldespatos potásico	37
Caolín	15	Creta	13
Sílice	10	Óxido de cinc	12
Esposdumeno	15	Caolín	22
		Sílice	16

Figura 7.6.3: Constan, C & Ogden, S, 1997. Fórmulas base para esmalte cerámico.



Figura 7.6.4: Rodríguez, S. & Hernández, C. 2013. Muestrario de esmaltes.

7.7. Pruebas y experimentación

7.7.1. Composición

Después de realizar el módulo que servirá como base de desarrollo en este ejercicio de experimentación, se procedió a realizar composiciones con base en la sucesión de Fibonacci¹⁶ y la teoría Gestalt¹⁷. Ambas teorías seleccionadas debido a que permiten desarrollos modulares y han sido utilizadas en la realización de obra artística.

¹⁶Sucesión Fibonacci: [...] debe su nombre a Leonardo de Pisa (1.170-1.240), más conocido por Fibonacci [...] sucesión de números enteros en la que cada término es igual a la suma de los dos anteriores: 0 - 1 - 1 - 2 - 3 - 5 - 8 - 13 - 21 - 34 - 55 - 89 - 144 ... Fuente: <http://vviana.es/doc/LaSorprendente%20SucesionDeFibonacci.pdf>

¹⁷La teoría Gestalt, esta basada en que “La mente configura, a través de ciertas leyes, los elementos que llegan a ella a través de los canales sensoriales (percepción) o de la memoria (pensamiento, inteligencia y resolución de problemas). En nuestra experiencia del medio ambiente, esta configuración tiene un carácter primario por sobre los elementos que la conforman, y la suma de estos últimos por sí solos no podría llevarnos, por tanto, a la comprensión del funcionamiento mental”. Fuente: <https://hannibalpsike83.files.wordpress.com/2014/10/leyes-de-la-gestalt.pdf>

7.7.1.1. Sucesión de Fibonacci

Como lo menciona Carmen Sánchez: “se trata de la sucesión que comenzando con los números 0 y 1 [dónde], cada término resulta ser la suma de los dos anteriores”:¹⁸

$$f_0 = 0, f_1 = 1$$

$$(f)_n = \{0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, \dots, f_n, \dots\}$$

$$\forall n > 1, f_n = f_{n-1} + f_{n-2}$$

Así Vicente Viana ¹⁹, nos muestra el rectángulo con base en la sucesión de Fibonacci y de la misma forma la espiral (ver figura 7.7.1).

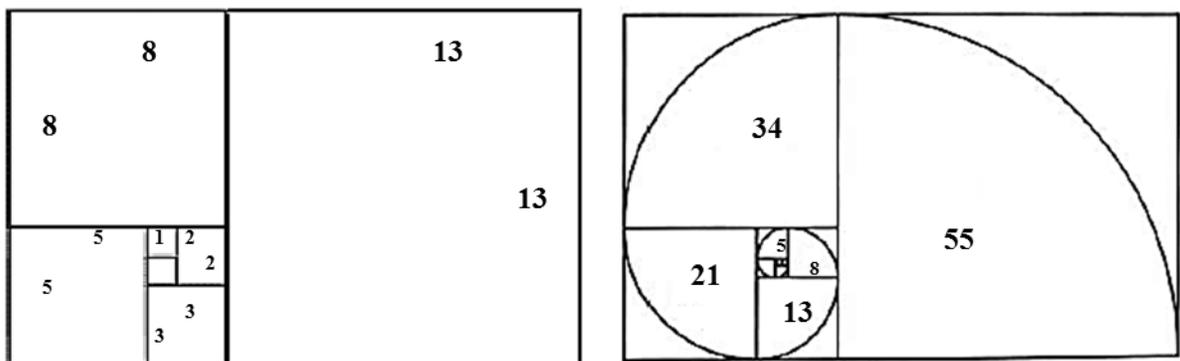


Figura 7.7.1: Viana, M. 2009. Rectángulo y espiral con sucesión Fibonacci.

Otro ejemplo que nos muestra Vicente Viana es el crecimiento de los girasoles (ver figura 7.7.2²⁰).

Finalmente un ejemplo en la pintura es la obra de Leonardo Da Vinci (ver figura 7.7.3²¹).

7.7.1.2. Teoría Gestalt

En concordancia con Guillermo Leone:

¹⁸Carmen Sánchez Diez, “Del número áureo a la sucesión de Fibonacci. Una curiosa relación”. p. 3.

¹⁹Vicente Viana Martínez, “La sorprendente sucesión de Fibonacci”, p. 3.

²⁰Girasol, imagen cortesía de <http://www.pinturayartistas.com/wordpress/wp-content/uploads/2013/01/proporcion-aurea-facil/girasol-joven.jpg>

²¹La Gioconda o Mona Lisa, imagen cortesía de <http://4.bp.blogspot.com/-I2m0q9X0A9o/TtIuAs13MwI/AAAAAAAAACTM/P9o8QxiR11o/s640/Mona+Lisa.jpg>



Figura 7.7.2: Girasol e identificación de sucesión de Fibonacci.

Las "Leyes de la percepción" o "Leyes de la Gestalt" fueron enunciadas por los psicólogos de la Gestalt (Max Wertheimer, Wolfgang Köhler y Kurt Koffka en Alemania a principios del siglo XX) quienes, en un laboratorio de psicología experimental, demostraron que el cerebro humano organiza los elementos percibidos en forma de configuraciones (gestalts) o totalidades.²²

La palabra Gestalt (del alemán) hace referencia a figura, forma u organización²³.

Así a continuación se describen las leyes y principios de la Gestalt²⁴ (ver figura 7.7.4²⁵):

Ley de Totalidad: El todo es más que la suma de las partes.

Ley Estructural: La forma es percibida como un todo, más allá de las partes que la componen.

Ley dialéctica: El ojo desprende y alterna la forma y fondo, in-out en un contexto.

Ley de contraste: A mayor contraste de la forma contra el fondo mejor percepción. (Buena forma).

Ley de cierre: A mejor cierre del contorno de la forma, mejor es su percepción. (forma potencial).

Ley de Completación: El ojo tiende a cerrar, unir, a completar “virtualmente” una zona abierta entre dos elementos que están en continuidad.

Concepto de Pregnancia: Es la fuerza de la forma; el “efecto impacto” de la forma en el movimiento ocular, la mente y el recuerdo.

Ley de Simplicidad: A formas menos complejas, mayor pregnancia. Las formas simples tienen menor número de grafemas.

²²Guillermo Leone, “Leyes de Gestalt”. p.1.

²³Definición. Fuente: <http://definicion.de/gestalt/>

²⁴s.a. “Principios de comunicación visual”. p. 4-11.

²⁵Imágenes cortesía de <http://es.slideshare.net/evamonet/comunicacion-visual-5379744> y <http://www.guillermoleone.com.ar/LEYES%20DE%20LA%20GESTALT.pdf>

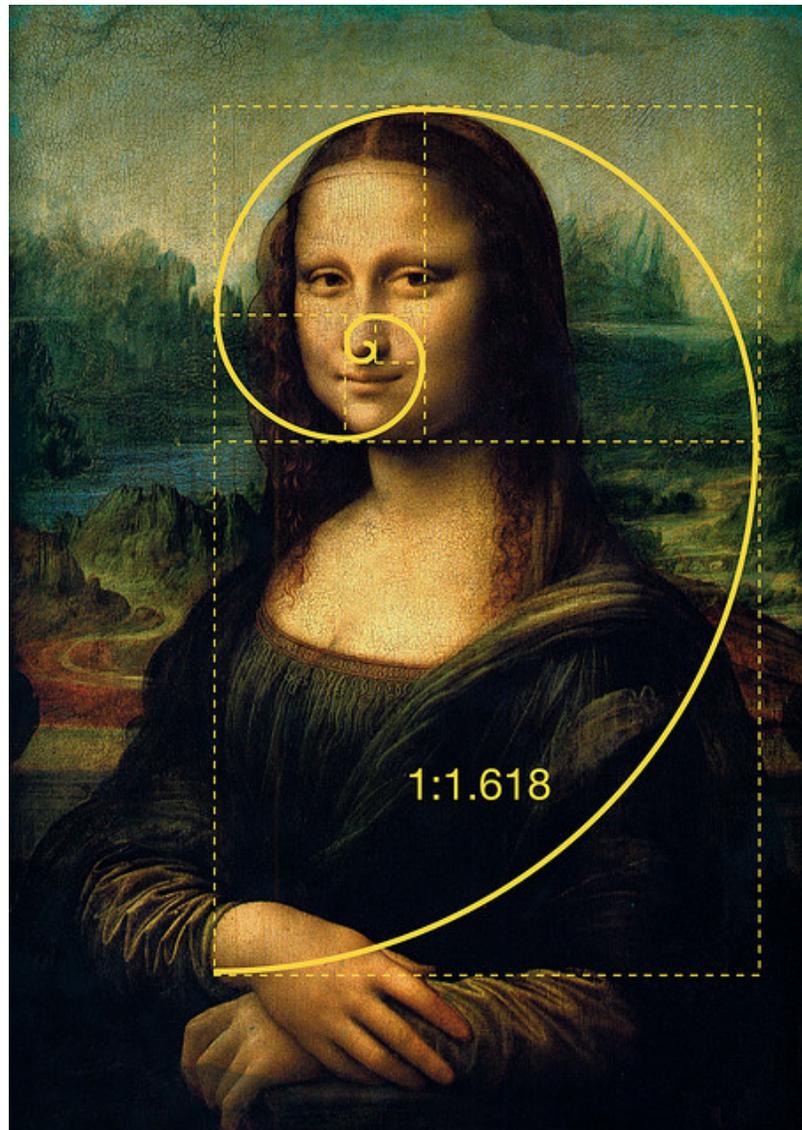


Figura 7.7.3: Leonardo da Vinci, 1503-1519. La Gioconda o Mona Lisa, identificación de rectángulo áureo.

Ley de Concentración (simetría, equilibrio e inclusión): Las formas organizadas alrededor de un punto central, el núcleo, son en todos los casos más pregnantes.

Ley de Continuidad: Si una forma sigue un eje continuo (vector) tendera a ser más pregnante.

Ley de contorno: Las formas organizadas con mayor contraste sobre el fondo son agrupadas y asociadas en mayor pregnancia.

Ley del Movimiento coordinado: Si diferentes elementos participan de un mismo movimiento, constituyen una forma pregnante.

Ley de continuidad de dirección: Una forma o línea curva es percibida como un fragmento de circunferencia y un segmento de línea.

Principio de invariabilidad topológica: Una forma resistirá más una deformación en tanto es más pregnante.

Principio de enmascaramiento: Una forma resiste las perturbaciones, siendo más persistente a mayor pregnancia.

Principio de Birkhoff: A mayor número de ejes de simetría mayor pregnancia.

Principio de proximidad: Las formas aisladas pero cercanas tienden a ser consideradas como grupos o formas globales.

Principio de semejanza: En un campo visual de elementos equidistantes, aquellos con mayor similitud en variables serán ligados formando una cadena o grupos homogéneos.

Principio de memoria: A mayor frecuencia en la presentación de unas imagenes mejor percibidas serán sus formas.

Principio de Jerarquía: Una forma compleja será más pregnante, en la medida que el receptor conduzca la mirada de lo principal a lo accesorio.

7.7.2. CAD

Con base en la sucesión de Fibonacci y la teoría Gestalt se desarrollaron algunas propuestas con el módulo seleccionado

1. En la figura 7.7.5 se desarrolló un acomodo de orden radial con un número de módulos correspondiente a la sucesión de Fibonacci y un ángulo de separación variable (ver cuadro 7.7.1).

		Member	Part Number	d30
1		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-01	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-01	20 deg
2		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-02	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-02	35 deg
3		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-03	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-03	45 deg
4		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-04	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-04	60 deg
5		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-05	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-05	70 deg
6		RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-06	RADIAL-ANGULO90_13 FIBONACCI-06	85 deg

Cuadro 7.7.1: Rodríguez, S. 2014. Variables del ensamble paramétrico.

2. En la figura 7.7.6 se pueden observar dos propuestas de acomodo una de orden orgánico y otra con orden concéntrico simérico.
3. Finalmente y como muestra de las posibilidades de trabajar en un programa CAD en la figura 7.7.7, se muestran algunas variantes de acabados en uno de los desarrollo modulares.

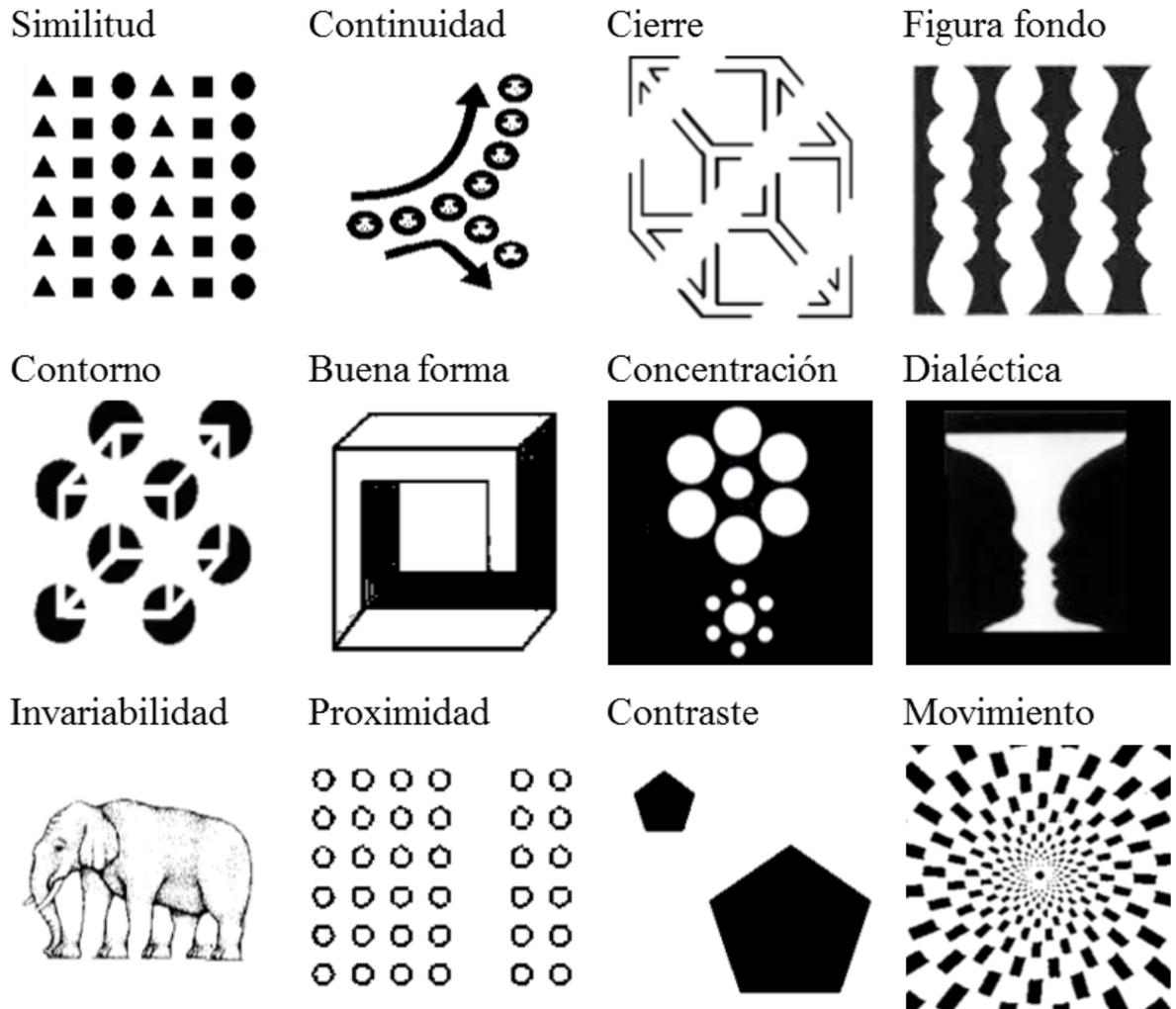


Figura 7.7.4: Ejemplos de Gestalt.

7.7.3. Análisis estructural

En este ejercicio de simulación del comportamiento del sistema modular escultórico se plantean dos tipos de análisis: el que se realizó al módulo y el que se realizó a los sistemas de módulos. En este sentido se realizó un análisis del módulo como objeto independiente tanto en el programa ANSYS 15® como en Inventor 2013®. Con respecto a los sistemas de módulos o super módulos, el análisis estructural se realizó sólo en Inventor®.

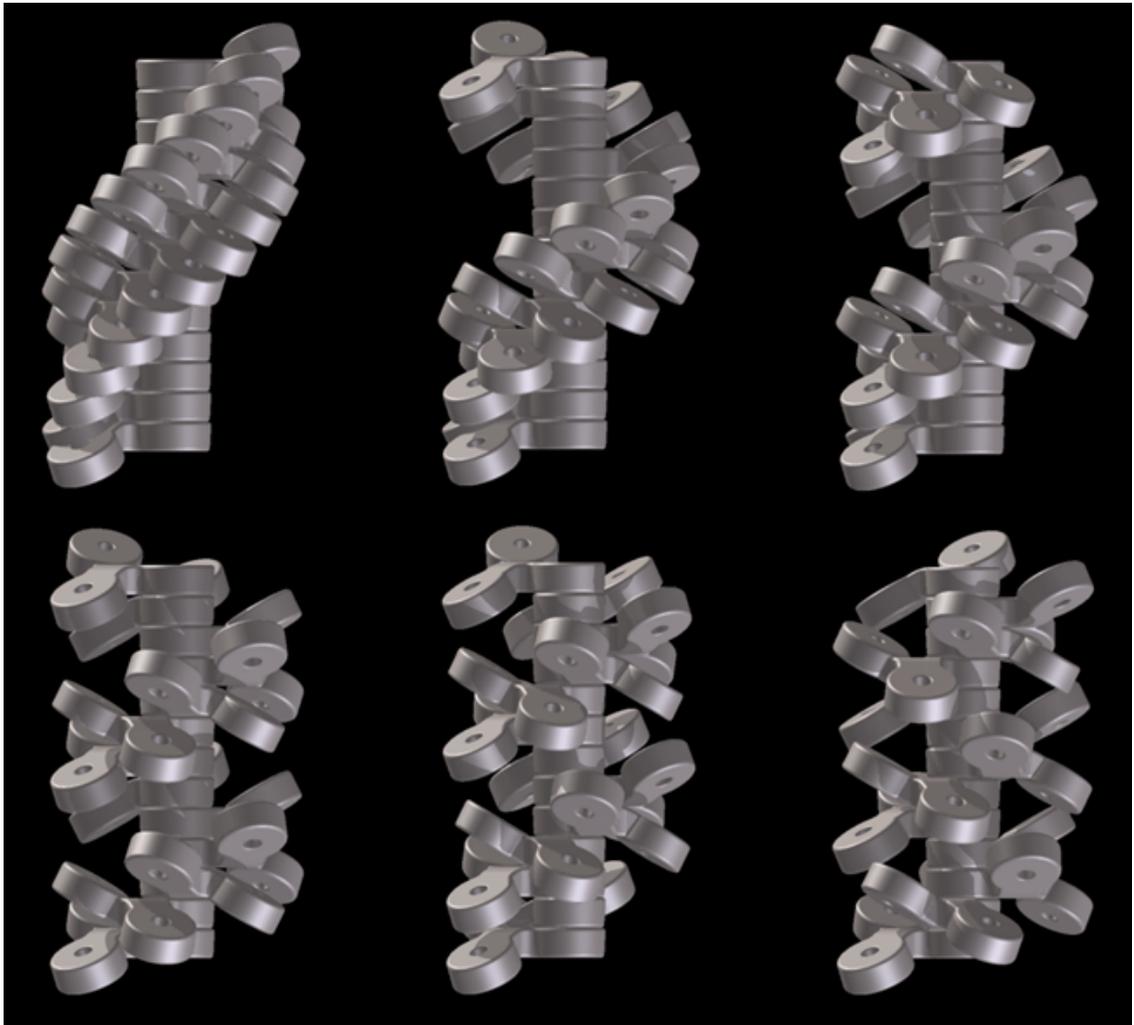


Figura 7.7.5: Rodríguez, S. 2014. Ensamble con acomodo radial.

7.7.3.1. Módulo

Al introducir el módulo b5 en el simulador de análisis estructural de ANSYS 15, el primer paso fue importar el archivo de CAD con en formato IGS; inmediatamente el programa identifica las secciones básicas de la estructura del objeto (ver figuras 7.7.8 y 7.7.9)

En las figuras que se presentan a continuación se observa el primer análisis de áreas del módulo b5, cabe mencionar que estas imágenes muestran cómo el programa no identificó todas las secciones del modelo CAD y que éste es susceptible de ser mejorado; sin embargo este modelo ya ha sido evaluado en el proceso de estereolitografía, por lo que dichos resultados se han omitido y el módulo no sufrió cambios para ser integrado en los sistemas de módulos o composiciones realizadas en este ejercicio de experimentación.

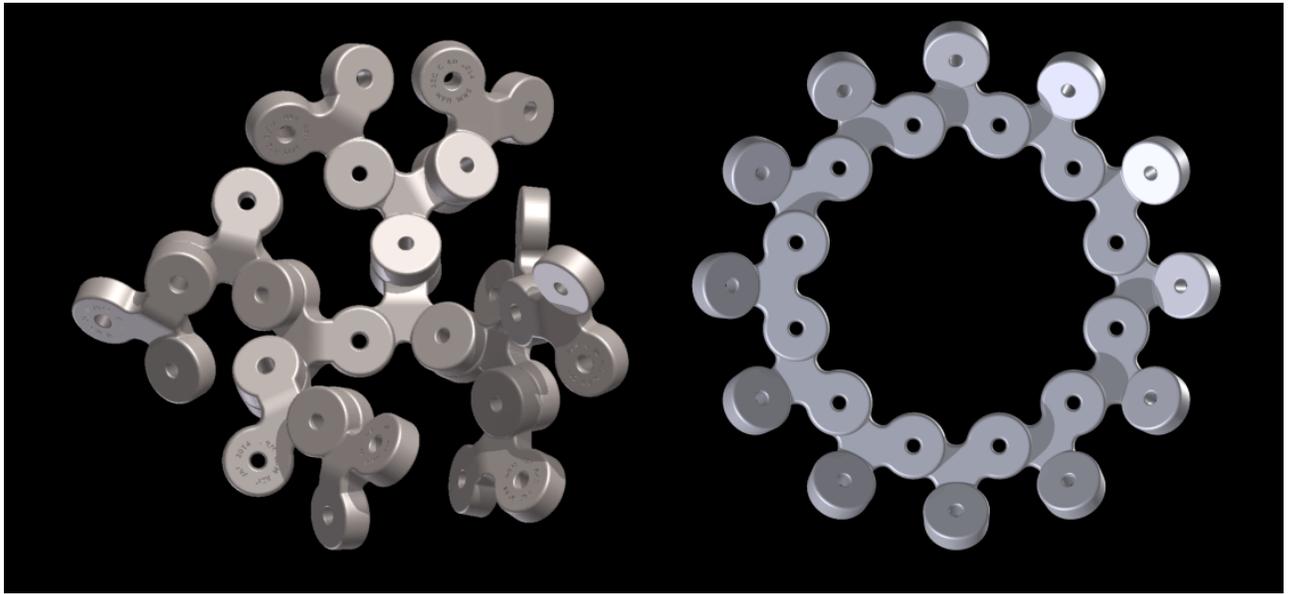


Figura 7.7.6: Rodríguez, S. 2014. Dos propuestas de ensmble: orgánico y concéntrico simétrico.

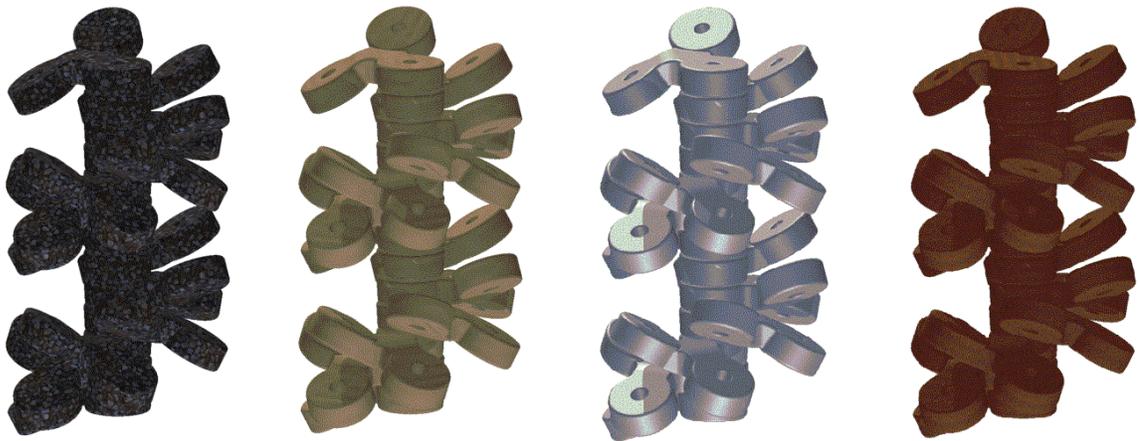


Figura 7.7.7: Rodríguez, S. 2014. Representación gráfica de una de las propuestas de diseño modular, modelada en CAD con materiales.

En la imagen 7.7.10 se observan secciones incompletas en el modelo, lo que implica que el programa identificó áreas irregulares en éste, dichas irregularidades no permiten al programa interpretar el modelo en su forma real y en esta imagen se muestran las secciones no resueltas en el proceso de modelado CAD, sin embargo, es necesario corregir estas secciones para realizar el análisis estructural.

En la gráfica 7.7.11, se procesa el análisis estructural del modelo pese a que éste muestra

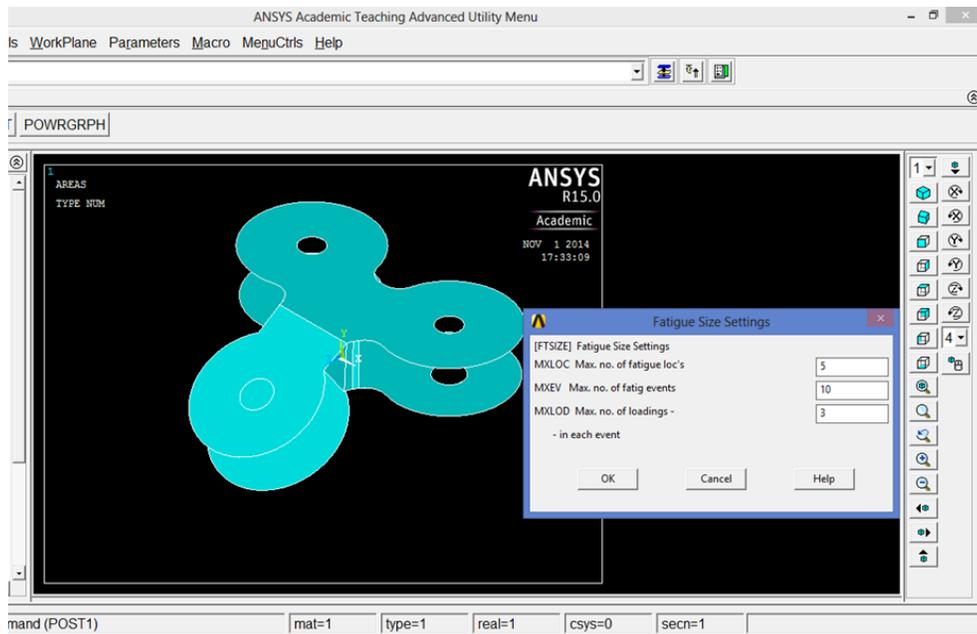


Figura 7.7.8: Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del modulo b5, apertura del archivo IGS en ANSYS 15®.

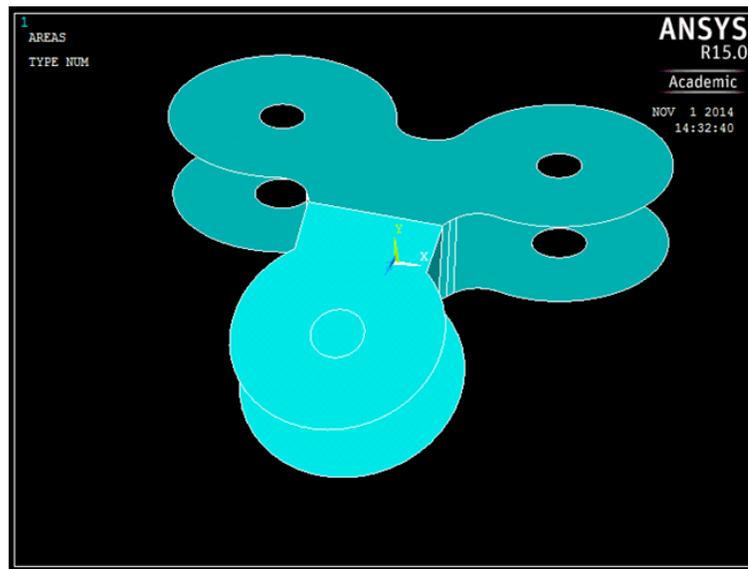


Figura 7.7.9: Rodríguez, S. 2014. Identificación de secciones del módulo b5.

secciones sin resolver (áreas vacías). Este tipo de análisis permite identificar con facilidad que el objeto muestra distintos comportamientos estructurales en sus diversas secciones.

En la figura 7.7.12 se observan las secciones del objeto, dichas secciones están señaladas por diversos colores, además de ser identificadas con números, lo que permite leer el análisis

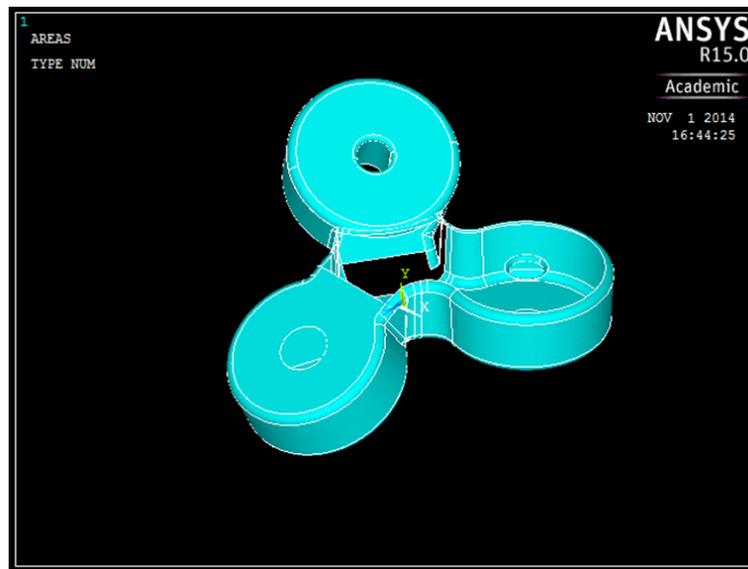


Figura 7.7.10: Rodríguez, S. 2014. Identificación áreas del módulo b5.

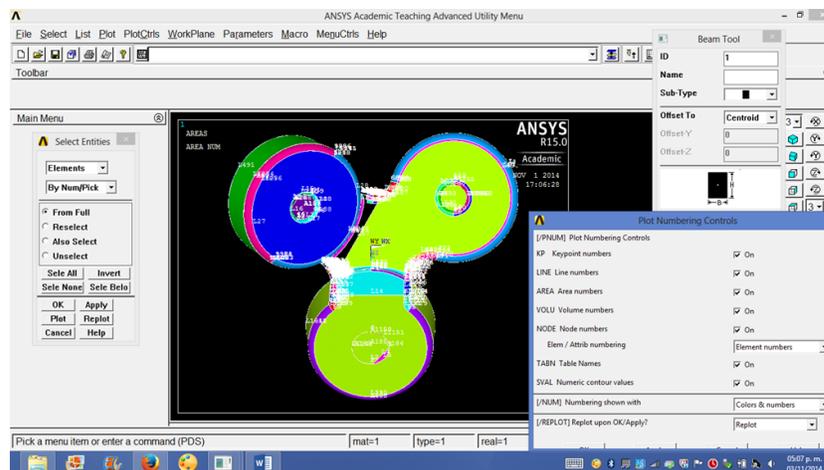


Figura 7.7.11: Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del módulo b5, identificación de áreas o secciones del objeto.

estructural de las áreas del objeto en los informes de resultados.

7.7.3.2. Supermódulos

En la serie de figuras que se presentan a continuación, se observa el análisis estructural de Inventor 2013®, del computamiento del sistema ante el desplazamiento, ello aplicando la fuerza de gravedad y una fuerza externa de 1 nw (en este caso la fuerza externa se aplica como mero ejemplo demostrativo de la simulación en el programa CAD).

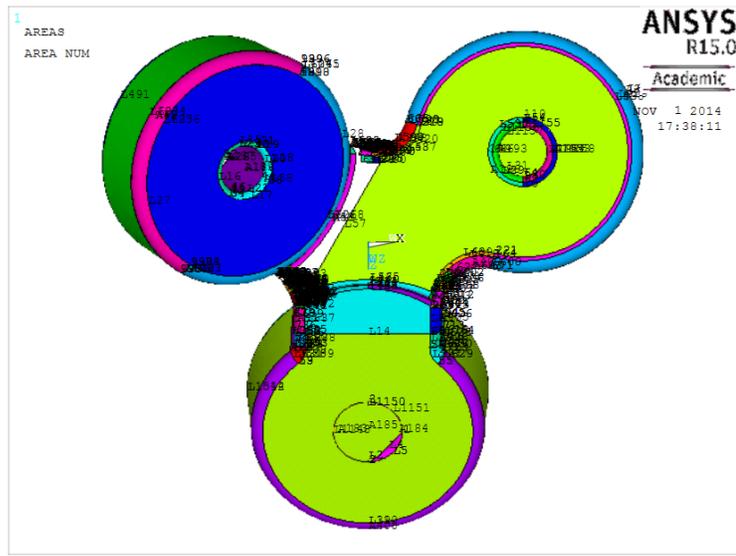


Figura 7.7.12: Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del módulo b5, identificación de áreas.

En el ejemplo A (figura 7.7.13), podemos observar la estabilidad de los módulos ubicados en la base de la estructura (color azul) y cómo se va perdiendo dicha estabilidad hacia el lado derecho de la estructura; identificado el comportamiento de este acomodo, se pueden hacer modificaciones para lograr una mayor estabilidad en el sistema, se pueden reforzar los módulos en las secciones de unión.

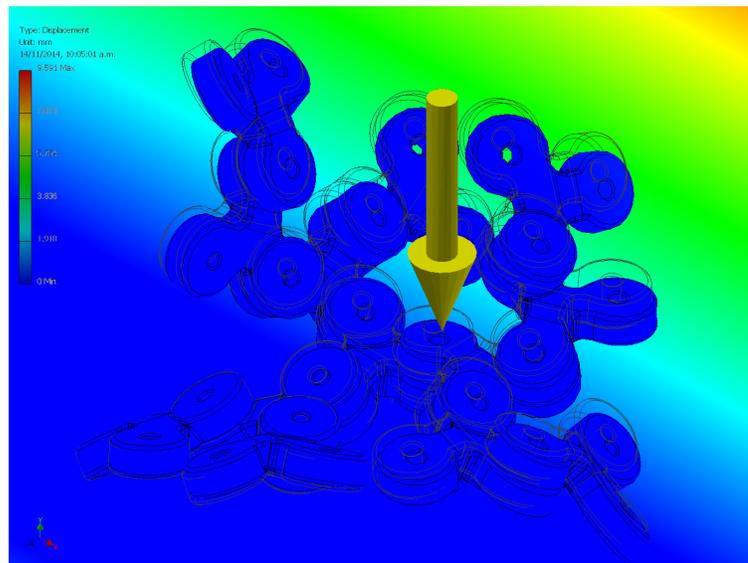


Figura 7.7.13: Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo A.

En el ejemplo B (figura 7.7.14), se realizó un acomodo concéntrico de los módulos y se aplicó la fuerza de gravedad en la sección inferior del sistema y la fuerza externa se aplicó en la parte superior, ello resultó en baja estabilidad en la base del sistema y alta estabilidad en la parte superior; sin embargo, aunque en este sistema de acomodo presenta desplazamiento, es muy estable si tomamos en cuenta que el rango de variación va de 0 a 3.197 mm., por ello esto comprueba via el análisis estructural, la estabilidad de este acomodo y su viabilidad.

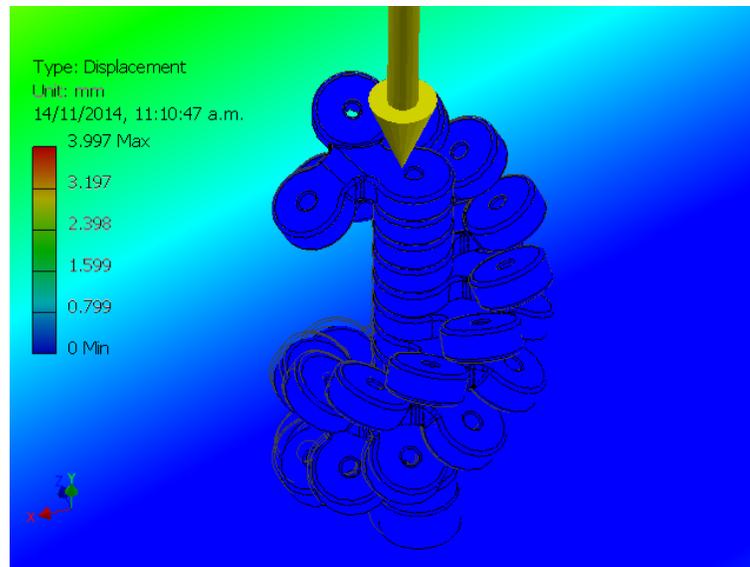


Figura 7.7.14: Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo B.

En el ejemplo C (figura 7.7.15), podemos ver nuevamente el sistema con acomodo concéntrico y el desplazamiento, ahora en una vista superior del sistema. Aquí el análisis nos muestra el resultado del desplazamiento que en este caso es de 0 a 3.197 mm.

En el ejemplo D (figura 7.7.16), la propuesta de acomodo es concéntrica también, sin embargo en esta ocasión el ángulo de ubicación de las piezas con respecto al centro se incrementa, esto quiere decir que hay una mayor distancia entre las piezas con respecto al eje central. En esta imagen lo que se puede observar en el análisis es el nivel crítico de desplazamiento que se presenta en la base del sistema, el valor de la variación que es de 0.0 a 1.676 mm, nos permite validar la factibilidad del desarrollo de este sistema.

Finalmente en el ejemplo E (figura 7.7.17), se observa un acomodo con menor ángulo de separación entre las piezas y se observa una estructura más saturada, pero continua presentándose el patrón de comportamiento de los ejemplos B y D, donde el mayor desplazamiento se presenta en la base, lo cual nos indica que para trabajar con este tipo de estructuras el anclaje es fundamental y ello permite garantizar la estabilidad del sistema de módulos.

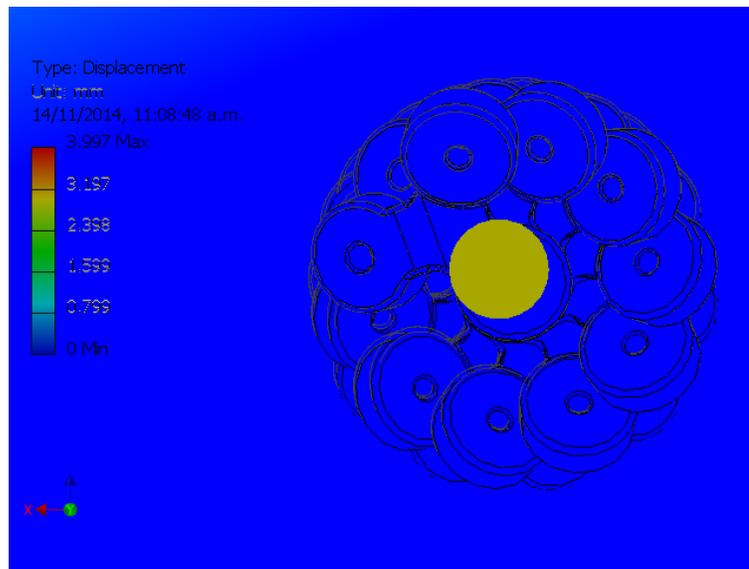


Figura 7.7.15: Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo C.

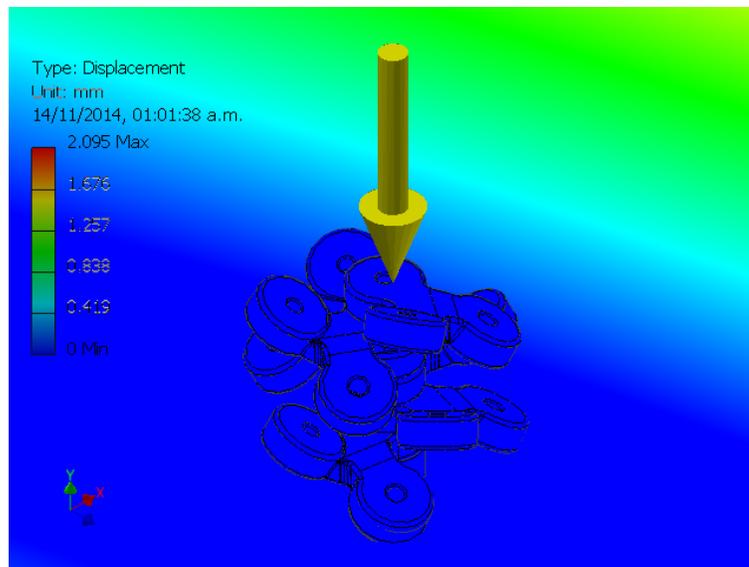


Figura 7.7.16: Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo D.

7.8. Proyección de propuestas de cerámica artística empleando el modelado paramétrico

Los materiales propuestos, el tamaño del módulo y el número de piezas permite lograr escultura monumental, esto bajo el criterio de que dichos desarrollos han sido evaluados estructuralmente por medio del programa Inventor 2013®; a continuación se presentan algunos

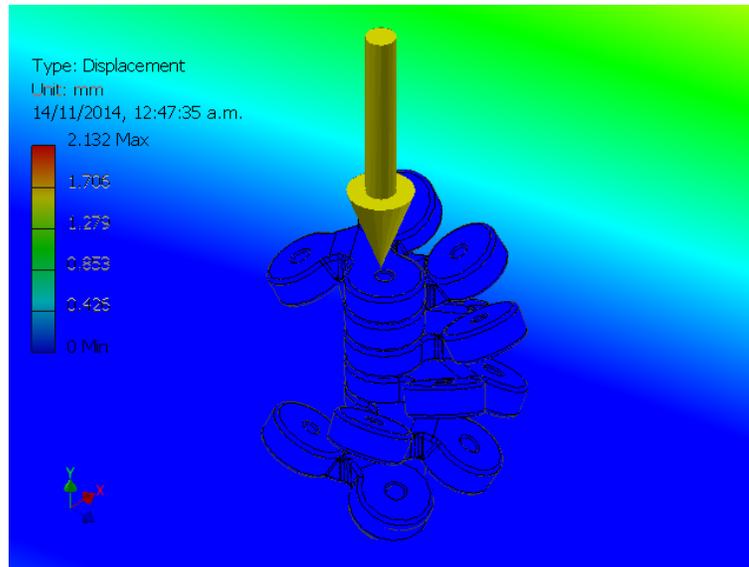


Figura 7.7.17: Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo E.

dibujos de representación hechos con dicho programa (ver figura 7.8.1), estos permiten visualizar una de las propuestas con distintos materiales a modo de ejemplo, cabe mencionar que dicha propuesta es viable de acuerdo con el análisis estructural (ver ANEXO E).

En las figura 7.8.2 y 7.8.3, se muestra parte de los resultados del proceso de análisis estructural. De acuerdo con las figuras el mayor desplaamiento que ocurre en el eje Z para el primer ejemplo, es de 55.83 mm y en el segundo caso el mayor desplaamiento en el eje Y es de 0.1 mm.

7.9. Producción de la propuesta seleccionada

La propuesta seleccionada es factible de ser producida en materiales cerámicos de acuerdo con las especificaciones que se muestran en el cuadro 7.9.1:

El tipo de obra generada queda definida con las siguientes características, indicadas en el cuadro 7.9.2:

En las figuras que se presentan a continuación, se muestran algunos ejemplos de las esculturas que se pueden relajar y ejemplos de la instalación de la escultura (ver figuras 7.9.1,7.9.2, 7.9.3, 7.9.4, 7.9.5 y 7.9.6).

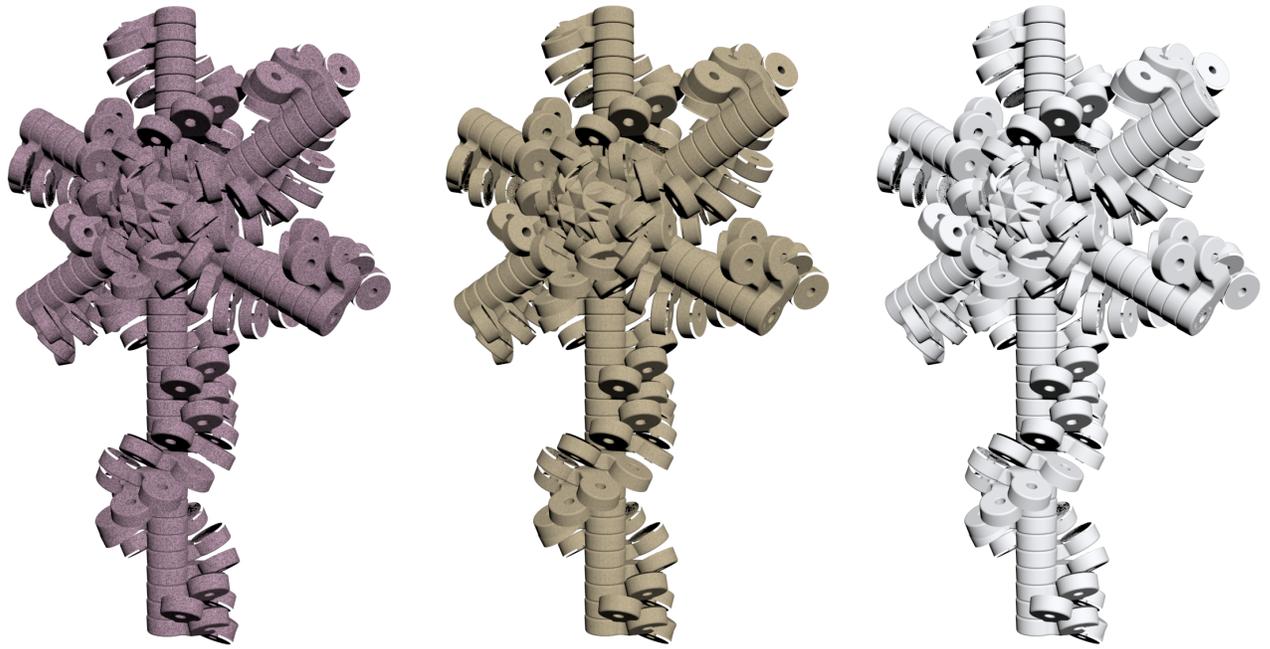


Figura 7.8.1: Rodríguez, S. 2014. Propuesta e escultura B5 en cerámica, varios acabados.

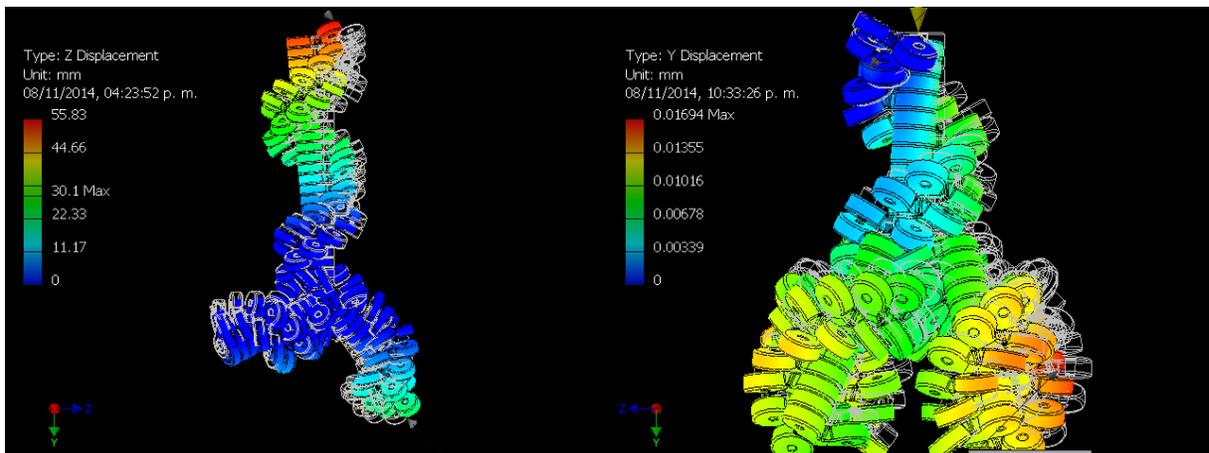


Figura 7.8.2: Rodríguez, S. 2014. Propuestas de escultura C y D 7, análisis de desplazamiento en los ejes Z y Y .

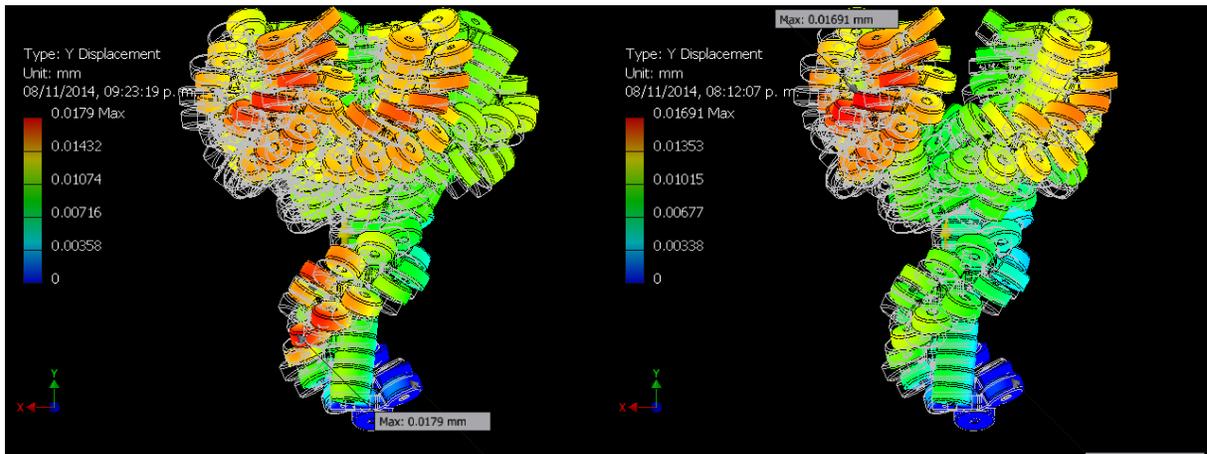


Figura 7.8.3: Rodríguez, S. 2014. Propuestas de escultura D 8 y D9, análisis de desplazamiento en el eje Y.

Concepto	Propuesta DESARROLLO 4 con el módulo DOS acabado esmaltado hasta 10 colores
Tiempo de producción	2 meses
Inversión en materiales	\$15,000.00
Análisis de viabilidad en Inventor 2013, incluye modelado de 3 propuestas a partir del diseño de 1 módulo y 5 propuestas escultóricas	\$10,000.00
Costos de producción	\$15,000.00
Dimensiones de la composición	3 m altura y 2 m diámetro
Dimensiones del módulo	12 cm altura y 30 cm diámetro
Número de elementos	55
Costo unitario por módulo	\$700.00

Cuadro 7.9.1: Producción de la propuesta.

Ficha técnica	Escultura modular de cerámica
Tipo de obra	Conceptual
Clasificación	Escultura matemática modular
Materiales	Gres porcelánico, acabada en esmalte (mate, brillante o ambos)
Dimensiones	2-4 m altura y 1-3 m diámetro
Tipo de instalación	Exterior e interior

Cuadro 7.9.2: Ficha técnica de la propuesta.

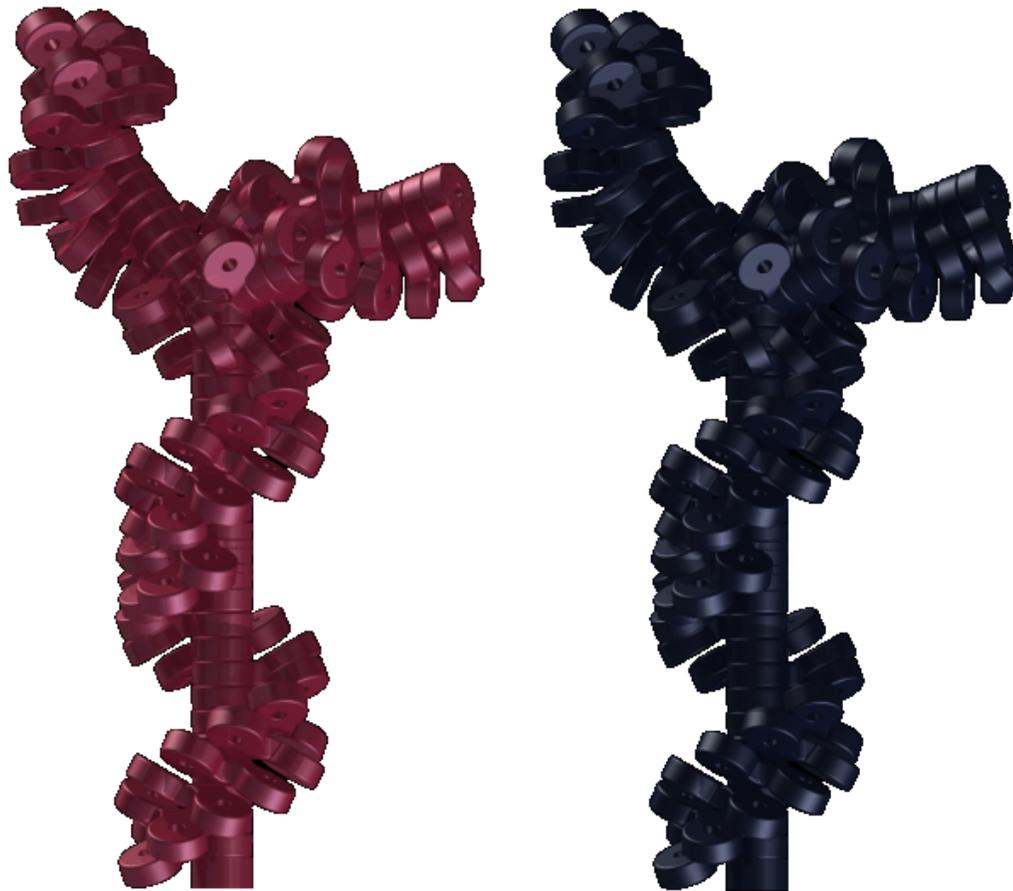


Figura 7.9.1: Rodríguez, S. 2014. Varinates de escultura con el módulo cuatro.



Figura 7.9.2: Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 1.



Figura 7.9.3: Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 2.



Figura 7.9.4: Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 3.



Figura 7.9.5: Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B9 instalación 4.



Figura 7.9.6: Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B6 instalación 5.

Conclusiones

Conclusiones

Aspectos del diseño que se deben contemplar aplicando el modelado paramétrico en la producción escultórica:

- Las nuevas tecnologías CAD-CAM apoyan a la producción de productos cerámicos, en cuestión de modelado se pueden lograr modelos de alta calidad para así poder producir objetos con las mismas características sin la necesidad de hacer modelos reales o moldes.
- La estereolitografía o impresión 3D es una herramienta sumamente versátil y útil para la realización de este tipo de objetos. Las recomendaciones para los artistas que incursionen en esta disciplina, es desarrollar modelos sólidos a fin de utilizarlos en la producción de moldes.
- El CAD nos permite realizar simulación para definir acabados de producto y proyectar las formas.
- En el proceso de modelado en CAD se pueden prevenir errores de proporción y dimensionales. En este ejercicio fue de gran utilidad el poder determinar ángulos de salida de los modelos y los moldes por medio del CAD.
- El análisis de elementos finitos nos permite evaluar la viabilidad de la obra, a partir de proyectar su comportamiento estructural. Así al simular el comportamiento del acomodo de las obras proyectadas, se puede visualizar el grado de desplazamiento, compresión e incluso las modificaciones o daños que se pueden generar en el modelo aplicando simplemente la fuerza de gravedad o factores ambientales.
- En este ejercicio, se pudo comprobar que por medio del modelado paramétrico y con sólo dos modelos de módulo cerámico, se pueden desarrollar infinidad de distintas esculturas, que además son viables de acuerdo con el análisis estructural, por lo que el porcentaje de daño de la escultura es claramente calculado y se puede disminuir o incluso eliminar modificando el modelo CAD.

Las ventajas identificadas de la producción escultórica aplicando el modelado paramétrico son las siguientes:

- El modelo tiene la versatilidad que el CAD nos brinda, tanto dimensional como formal, por lo que el número de variables de obra es exponencial de acuerdo con su nivel de complejidad.
- Por utilizar sistemas CAD para generar el modelo se logran formas, que de manera artesanal no es posible.
- En el proceso de simulación
 - Se pueden hacer correcciones sin la necesidad producir la obra
 - Se obtienen datos que permiten garantizar la viabilidad estructural de la obra (en términos de análisis estructural)
 - Se pueden hacer maquetas digitales para proyectar el aspecto de la obra
 - En el proceso productivo se pueden reducir los costos, contemplando que el cálculo de la producción se puede hacer de forma precisa
- Todo este análisis es a muy bajo costo

Las desventajas identificadas de la producción escultórica aplicando el modelado paramétrico son las siguientes:

- Aunque el CAD es muy versátil, hay formas que no se pueden obtener, por ello cualquier modelo que se desarrolle por éste medio debe sujetarse a las capacidades del programa en el que se trabaje; lo anterior ocurre principalmente en la realización de formas orgánicas, que si se quieren realizar, deberán estar calculadas matemáticamente y por ello las formas que se hagan con este procedimiento tendrán la tendencia a ser geométricas.
- Otra desventaja, es que cualquier diseño se debe limitar a la capacidad del equipo CAM que se use para generar el modelo; entre estas limitaciones se encuentra principalmente el tamaño del modelo y aunque ya existen impresoras 3D que imprimen muros, son de alto costo.

En el aporte al medio artístico en términos de expresión formal se dio a partir del ejercicio de experimentación que consistió en el escaneo de objetos cerámicos para obtener un modelo

CAD, ello arrojó como resultado un nuevo lenguaje formal debido a que al transferir el modelo a la plataforma CAD, las texturas obtenidas son diferentes a las del objeto original. Estos resultados permiten al artista desarrollar obra con estas características formales, mismas que son producto de la interpretación formal que hace el programa de CAD del modelo de material cerámico.

Como proceso creativo, el modelado paramétrico permite al artista visualizar su obra sin la necesidad de producirla y realizar modificaciones con objeto de garantizar su estabilidad estructural.

Por otra parte cabe mencionar que se puede continuar experimentando para poder determinar hasta qué punto las nuevas tecnologías nos permiten desarrollar modelos para producir objetos cerámicos, puesto que siempre habrá la necesidad de modificar la forma del modelo y esto a su vez altera el producto final, positiva o negativamente, dependiendo de cómo concibe el artista su obra desde el punto de vista conceptual.

Este proyecto surge como respuesta para los artistas conceptuales contemporáneos interesados en incursionar en el uso de las nuevas tecnologías de modelado CAD, con interés por los nuevos procesos generativos de obra. Es importante mencionar que la obra realizada con CAD, tiene su lenguaje propio y ello no tiene controversia con la producción artesanal, sin embargo lo que se pretende comunicar con este tipo de escultura es la capacidad expresiva de los sistemas computarizados y que ello no se merma por la forma en que se creó; porque finalmente el concepto lo desarrolla el artista y el CAD es sólo una herramienta.

Fuentes de consulta

Bibliografía

1. Alawadhi Esam, M. *Finite element simulaions using ANSYS®*. CRC Press, F.L., USA, 2010, 408 pp.
2. Bedolla Pereda, Deyanira. Tesis doctoral: *Diseño sensorial. Las nuevas pautas para la innovación, especialización y personalización del producto*. Universidad Politécnica de Cataluña & CONACYT, ISBN 8468807486, 2003, 488 pp.
3. Christine Constan & Steve Ogden. *La paleta del ceramista*. Gustavo Gili, Barcelona, 1997, 80 pp.
4. García-Córdoba, Fernando & García-Córdoba, Lucía Teresa. *La problematización*. México, ISCEIM, México, 1998, 61 pp.
5. Giannetti, Claudia. *Estética digital, sintopía del arte, la ciencia y la tecnología*. Barcelona, ACC L'Angelot, España, 2002, 261 pp.
6. Hawkes, Barry. *CAD CAM*. Paraninfo, S.A., Madrid, España, 1989, 336 pp.
7. Kotler, Philip & Lane Keller, Kevin. *Dirección de Marketing*. Pearson Educación, México, 2006, 817 pp.
8. Limonero García, Joaquim Timoteo. *Motivación y emoción*. UOC, Barcelona, España, 2003, 273 pp.
9. Martín González, Juan José. *Las claves de la escultura*. Ed. Planeta, Barcelona, España, 1995, 80 pp.
10. Munari, Bruno. *¿Cómo nacen los objetos?*. Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España, 1983, 385 pp.
11. Navarrina Martínez, Fermín. Tesis doctoral: *Una metodología general para optimización estructural en diseño asistido por el ordenador*. Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Barcelona, España, 1987, VII-43a pp.
12. Smith, Terry. *¿Qué es el arte contemporaneo?*. Grupo siglo XXI, México D.F., 2012, 392 pp.

13. Wong, Wucius. *Fundamentos del Diseño*. Gustavo Gili, S.L., Barcelona, España, 1995, 204 pp.
14. Zalaya Báez, Ricardo. Tesis doctoral: *Escultura matemática “Antecedentes en la historia del arte, desarrollo, perspectivas de evolución y clasificación por conceptos matemáticos”*. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2005, 290 pp.

Sitios web

Acuña, Edgar. “Preprocesamiento: reducción de datos - discretización”. 2011, recuperado el 26/10/14 de: <http://academic.uprm.edu/~eacuna/dm4.pdf>

Alarcón, Javier. “Química de materiales cerámicos – notas del tema 1”. 2003, recuperado el 01/08/14 de: <http://www.uv.es/uimcv/Castellano/ModuloMatCeramicos/Unidad%201.pdf>

Archer, Bruce. “Método sistemático para diseñadores, en Design, vol. 64, 1963”. 2012, recuperado el de: <http://www.azc.uam.mx/cyad/investigacion/prospectiva/11REVISTA%20ELECTRONICA%20TS24HRS%2016.pdf>

Bartolomé Álvaro, Miguel .“Fossile, un claro ejemplo de extrusión cerámica” . 2013, recuperado el 26/06/13 de: www.ceramicaamanoalzada.com/fossile-extrusion-ceramica/

Blanco, Francisco. “Materiales petreos artificiales”. 2008, recuperado el 02/06/14 de: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema4.2.MaterialesPetreosArtificiales.2P.PPT.pdf>

Cajal Carlos, Brosed Francisco & Casanova Jesús. “Sistemas CAD-CAM (CAM)”. Escuela universitaria de ingeniería técnica industrial, Universidad de Zaragoza. 2011, recuperado el 21/01/13 de: http://ocw.unizar.es/ocw/pluginfile.php/233/mod_label/intro/fio_6_sistemas_cad_cam_ii.pdf

Carnicero, Alberto. Introducción al método de los elementos finitos. 2001, recuperado el 20/07/14 de: http://www.iit.upcomillas.es/~carnicero/Resistencia/Introduccion_al_MEF.pdf

Cascales Sandoval, Juan Pedro & Gallego Fernández, Jose Carlos. “Método de discretización”. 2006, recuperado el 27/09/14 de: http://webs.um.es/jmz/IntroFisiCompu/Alumnos/06_Pozo_de_Potencial/archivos/discretizacion.pdf

Castellón, Juanjo. “Cerámica Celular Paramétrica, performativa & free-form”. 2011, recuperado el 03/05/13 de: <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdf/2012109.pdf>

Cassel, Halima. Página web de Halima Cassel. 2003-2013, recuperado el 03/09/14 de: <http://www.halimacassell.com/>

Cantavella Escrig, Miguel. “Composiciones de pastas cerámicas, desarrollo de composiciones”. 2007, recuperado el 02/06/14 de: <https://www.dropbox.com/sh/nldbatcyyyz3g5u/AACrWidIYAYW3hqqpFRwQAkXa/materias%20primas/Presentacion%20pastas.pdf?dl=0>

Cobo Musatadi, Carmen. “Las formas en el plano”. Sigma, octubre 2002, núm. 21 pp. 131-141, recuperado el 20/05/14 de: http://www.hezkuntza.ejgv.euskadi.net/r43-573/es/contenidos/informacion/dia6_sigma/es_sigma/adjuntos/sigma_21/8_las_formas_en_el_plano.pdf

Derek, Roger. “Materiales cerámicos”. Proceedings of the British Ceramic Society, junio 1984, núm 28 pp. 30-70, recuperado el 17/07/14 de: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.Ceramicos>

Generalidades2.pdf

Díaz, Jaidy & García Sánchez, José Daniel. “Arte y Tecnología”. Teoría y praxis investigativa, febrero-agosto 2006, vol 1. núm. 1 pp. 61-69, recuperado el 26/01/14 de: http://www.areandina.edu.co/contenidos/medios_portal/n-publicaciones/n-revistas-bogota/teoria-y-praxis/teoria_y_praxis_v1n1.pdf

Domínguez Bedoya, Julio. “El concepto de obra de arte en la legislación mexicana”. Alegatos, noviembre 2010, núm 11 pp. 1-7, recuperado el 10/11/13 de: www.azc.uam.mx/publicaciones/alegatos/pdfs/11/11-03

DIY 3D Printing. “Manufacturing revolution on your desktop”, recuperado el 13/07/14 de: <http://diy3dprinting.blogspot.mx/2013/11/large-3d-porcelain-printer-by-eran-gal.html>

Escobar Rodríguez, Irma Leticia. “Las bellas artes”. 2009, recuperado el 15/02/14 de: <http://plasticas.dgenp.unam.mx/inicio/introduccion/bellas-artes>

Fernández Martínez, Laura Margarita. “Los retos sociales y comunicativos de la pintura mural santiaguera, en la formación del individuo”. Revista caribeña de ciencias sociales, 2013, recuperado el 06/11/13 de: <http://xn-caribea-9za.eumed.net/retos-sociales-comunicativos-pintura-mural-santiaguera/>

Galán, Emilio & Aparicio, Silvia. “Materias primas para la industria cerámica”. 2006, pp. 31-48, recuperado el 31/07/14 de: http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf

Gallery Barbara Krakow. Sol Lewitt, recuperado el 10/08/14 de: http://www.multimedialab.be/doc/projections/doc_sol_lewitt.pdf

Glenn, Allison. “Wendy Walgate Exuberance”. Ceramics: Art and Perception, núm.78 2009, recuperado de: <http://www.walgate.com/pdf/ExuberanceArticle.pdf>

Hoskins, Stephen. “Solid free-form fabrication in fired ceramic as a design aid for concept modelling in the ceramic industry”, 2012, recuperado el 01/08/14 de: www.uwe.ac.uk/research/cfpr/research/3D/Research_Projects

Jiménez Serrano, Pedro Julio. “Nuevas Tecnologías en el laboratorio dental. Sistema Cad/Cam II”. Tecnología Dental & Internet, marzo 2011, recuperado el 03/05/13 de: http://www.gacetadental.com/wp-content/uploads/OLD/pdf/177_CIENCIA_Tecnologias_laboratorio_dental.pdf

Leone, Guillermo. “Leyes de Gestalt”. 2011 p.1-8, recuperado el 15/01/14 de: <http://www.guillermoleone.com.ar/LEYES%20DE%20LA%20GESTALT.pdf>

Mapesa. “Catalogo de ladrillos Malpesa 2012-2013”. recuperado el 04/08/14 de: www.mapesa.es

Marrero Osorio, Sergio Alfredo & Martínez Escanaverino, José. “Diseño paramétrico de piezas de fricción”. Ingeniería mecánica, vol. 12 , enero-abril 2009, núm. 1 pp. 37-48, recuperado el 07/03/14 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225114975005>

Marrero Osorio, Sergio Alfredo & Martínez Escanaverino, José. “Estrategia para el diseño paramétrico basado en modelos”. Ingeniería mecánica, vol.11, 2011, núm. 3 pp. 39-46, recuperado el 07/03/14 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115162006>

Martínez Arroyo, René Ramón & Cárdenas Espinosa, Rodrigo Arturo. “Las ventajas e inconvenientes del CAD/CAM”. CULCyT, septiembre–diciembre 2006, núm. 3 pp 16-17, recuperado el 03/04/13 de: <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/sep-dic2006/7%20Sistemas%20Computacionales%20OK.pdf>

Murgia, Victor. “Taller de dibujo”. 2008, recuperado el 11/10/14 de: <http://iuna.catedramurgia.com>.

ar/files/2010/09/simetria.pdf

Padilla Padilla, Ricardo A. “La obra plástica y su protección en la legislación panameña”. 2003, recuperado el 05/11/13 de: http://www.legalinfo-panama.com/articulos/articulos_29a.htm

Pérez-Calero Sánchez, Leticia A. “Mercado del arte e intermediarios: una perspectiva actual”. Grupo de Investigación CEAC, Junta de Andalucía, España. Laboratorio de arte, 2011 núm. 23, pp. 537-550, recuperado el 09/07/14 de: http://institucional.us.es/revistas/arte/23/articulo_26.pdf

Pilhofer, Eric. “Architectural ceramics, sculptural ceramics, glass and design”. 2014, recuperado el 06/08/14 de: <http://www.pilhoferwerks.com/304420/3845100/gallery/modular-ceramic-vanishing-edge-pool-installation>

Pujadas Álvarez, Pablo. “Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno”. 2008, recuperado el 15/08/14 de: <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/6554>

Quesada, Carlos. “Los sólidos Platónicos”. 2006, recuperado el 19/02/13 de: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/barcelo/historia/Los%20solidos%20platonicos.pdf

Ramírez, Ana. “Mural modular. Proyecto interdisciplinar”. Cerámica San Telmo. marzo 2013, recuperado de: www.blog.ceramicasantelmo.es

Ramírez, Miguel. “La automatización del diseño: Manufactura asistida por computadora (CAM)”. 2001, recuperado el 21/01/13 de: <http://media0.webgarden.es/files/media0:4b3b619cf3694.pdf.upl/cadcam%5B1%5D.pdf>

Real Academia Española. “Diccionario de la lengua española”. 2003-2014, recuperado de: <http://lema.rae.es/drae/>

Reijnders, Anton & Mobutu Smith, Malcom. “On Virtual Sandboxes”, *Ceramics Technical*. mayo-octubre 2010, núm. 30, pp 8-13, recuperado el 05/06/13 de: <http://ceramicart.com.au/ct30.shtml>

Rojas Lazo, Oswaldo & Salas Bacalla, Julio. “Producción automatizada de sistemas CAD/CAE/CAM”. 1999, recuperado el 21/01/13 de: <http://www.redalyc.org/pdf/816/81611271010.pdf>

Ronald Andrew, Kuchta. “A modular vision, the ceramic art of Veronica Byun”. 2012, recuperado el 26/10/13 de: http://www.lovedfinearts.com/images/Byun_12/ByunAMODULAR%20VISION.pdf

s.a. “Principios de comunicación visual”. 2008, recuperado el 15/01/14 de: <http://es.slideshare.net/evamonet/comunicacion-visual-5379744>

s.a. “Proceso de ensambles” recuperado el 08/10/14 de: <https://cursos.aiu.edu/Procesos%20Industriales/PDF/Tema%204.pdf>

Sotelo Santos, Laura Elena. “Escultura en movimiento”. 2004, recuperado el 14/11/14 de: http://www.revista.unam.mx/vol.5/num7/art43/ago_art43.pdf

They are news.com. “La magia del baño, azulejos que estimulan la inteligencia infantil”. 2013, recuperado el 09/10/14 de: <http://www.theyarenews.com/2013/2/11/la-magia-bano-azulejos-estimulan-inteligencia-infantil-7879.asp>

Tejado Sebastián, José María. “Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico”. 2005, recuperado el 24/01/13 de: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2526197.pdf

Togores Fernández, Reinaldo. “Diseño paramétrico”. 1999-2011, recuperado el 15/02/14 de: <http://www.togores.net/home/disenoparametrico>

Verbruggen, Dries. “*Paste extrusion*”. REPRAP MAGAZINE, Marzo 2014, recuperado el 21/07/14 de: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/reprapmagazine/RepRapMagazine_Issue_3_lowres.pdf

Viana Martínez, Vicente. La sorprendente sucesión de Fibonacci. 2009, recuperado el 02/10/2014 de: <http://vviana.es/doc/LaSorprendente%20SucesionDeFibonacci.pdf>

Wright, Edward A. “Para comprender el teatro actual”. 1995, recuperado el 15/02/14 de: <http://plasticas.dgenp.unam.mx/inicio/introduccion/clasificacion>

X. Bal, Barry. “Artista reconstruye obras clásicas del renacimiento gracias a la impresión 3D”. 2014, recuperado el 16/05/14 de: <http://alt1040.com/2014/05/impresion-3d-obras-clasicas-renacimiento>

X. Bal, Barry. Página web de Barry X. Ball. 1982-2014, recuperado el 16/05/14 de: http://www.barryxball.com/works_cat.php?cat=1&work=202

Anexo A. Instrumentos de investigación

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en este proyecto son tres: entrevista, consentimiento informado de la entrevista y la encuesta.

Entrevista

Lista de preguntas de la entrevista:

- ¿Conoce el significado de las siglas CAD-CAM?
- ¿Ha aplicado tecnologías CAD CAM en sus procesos productivos?
- ¿Qué herramientas de CAD usa o ha usado en su proceso productivo?
- ¿Qué herramientas de CAM usa o ha usado en su proceso productivo?
- ¿En qué forma beneficia el CAD a los procesos?
- ¿Cuáles son las desventajas del uso del CAD CAM?
- ¿Cómo puede el CAD CAM beneficiar a los procesos cerámicos?
- ¿En qué puede incidir el CAD CAM en la producción de cerámica artística?

El formato de entrevista como instrumento de investigación, incluye indicaciones de cómo realizar la entrevista debido a que las entrevistas han sido grabadas y este formato tiene también la función de guion de la grabación. Para aplicar la encuesta, previamente se entregó al entrevistado el formato de consentimiento informado.

Instrumento 1: Entrevista

Objetivo: Obtener información de la percepción que se tiene del CAD CAM en el medio de la Cerámica artística.

<p>1. Saludo Presentación formal del entrevistado – se debe conocer el CV del entrevistado En esta caso se leerá el siguiente texto: <i>Buenos días (tardes, lo que aplique)</i> <i>Nos encontramos aquí en con (nombre del entrevistado) y se lee una descripción de 5 renglones de la persona.</i></p>	
<p>2. Dar a conocer al entrevistado el objetivo de la entrevista, que en este caso es: Conocer la opinión de un ceramista o artista experimentado ante la factibilidad del CAD CAM en el diseño de objetos cerámicos. <i>El objetivo de esta entrevista es conocer su opinión sobre la factibilidad del CAD CAM en el diseño de productos cerámicos.</i></p>	
<p>3. Indicar que inician las preguntas: La primera pregunta es:</p>	
<p><i>¿Conoce el significado de las siglas CAD-CAM?</i></p>	
<p>Si contestó que SI</p>	<p>Si contestó que NO</p>
<p><i>¿Podría explicárnoslo en sus propias palabras?</i></p>	<p>Se lee el siguiente texto CAD es el acrónimo de "Computer Aided Design" que en español significa Diseño asistido por computadora y las siglas CAM corresponden al acrónimo de Computer Aided Manufacturing, o Fabricación asistida por computadora <i>¿Cuál ha sido la razón de que nunca haya empleado el CAD o el CAM en sus procesos productivos?</i></p>
<p><i>¿Ha aplicado tecnologías CAD CAM en sus procesos productivos?</i></p>	<p><i>¿Cuál es la razón de que nunca haya aplicado las tecnologías CAD o CAM en sus procesos productivos?</i></p>
<p>Si contesto que SI</p>	<p>Si contesto que NO</p>
<p><i>¿Cómo fue este proceso?</i></p>	<p><i>¿En qué procesos cree que podrían aplicarse las tecnologías CAD CAM?</i></p>
<p><i>¿Qué herramientas de CAD usa o ha usado en su proceso productivo?</i></p>	<p><i>¿Qué herramientas de CAD le gustaría usar en su proceso productivo?</i></p>
<p><i>¿Qué herramientas de CAM usa o ha usado en su proceso productivo?</i></p>	<p><i>¿Qué herramientas de CAM le gustaría usar en su proceso productivo?</i></p>
<p><i>¿Cuál ha sido su experiencia en el uso del CAD en beneficio de sus procesos?</i></p>	<p><i>¿En qué sentido cree que el CAD podría beneficiar a sus procesos?</i></p>
<p><i>En su opinión ¿qué es lo más negativo del CAD CAM?</i></p>	
<p><i>¿Qué se podría hacer para hacer que estas tecnologías beneficien al proceso productivo de los ceramistas?</i></p>	
<p><i>¿Dónde se pueden aplicar las tecnologías de CAD o CAM en la producción de cerámica artística?</i></p>	
<p>4. Fase previa al final de la entrevista Resumen de la entrevista para confirmar la información recibida</p>	
<p>5. Cierre de la entrevista Despedida y agradecimiento</p>	

Instrumento alternativo 1: Consentimiento Informado

Consentimiento Informado

para los Entrevistados para el enriquecimiento de la investigación:

“Experimentación de tecnologías CAD CAM en el ámbito del modelado paramétrico para la conformación de productos cerámicos artísticos”.

El propósito del presente **consentimiento informado** es contar con la autorización de los participantes para hacer uso de la información aportada en la investigación **“Experimentación de tecnologías CAD CAM en el ámbito del modelado paramétrico para la conformación de productos cerámicos artísticos”**.

Esta información va a ser publicada en primera instancia en una tesis para obtener el grado de maestría en Diseño de la alumna **Sandra Rodríguez Mondragón**, artículos de divulgación en revistas impresas y electrónicas, diaporamas –que se elaborarán a lo largo de la investigación- y publicación de al menos un libro con los resultados de dicha investigación.

El Objetivo de la investigación es: **diseñar en unión con el artista, productos cerámicos modulares que permitan la expresión estética, con el uso de modelado paramétrico, imprimirlos y producirlos.**

El Objetivo de la encuesta es: **obtener una estadística del conocimiento que se tiene del CAD CAM en el medio de la cerámica artística.**

El Objetivo de la entrevista es: **obtener información de la percepción que se tiene del CAD CAM en el medio de la Cerámica artística.**

La presente investigación es conducida por **Sandra Rodríguez Mondragón en su calidad de alumna del posgrado en Diseño., línea de especialización en Nuevas Tecnologías CAD CAM,** en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

El objetivo de esta fase del estudio es:

Obtener datos estadísticos para conocer las necesidades de la población beneficiaria y satisfacerlas o tomarlas en cuenta, en el proyecto de investigación: **“Experimentación de tecnologías CAD CAM en el ámbito del modelado paramétrico para la conformación de productos cerámicos artísticos”**, y mantener o modificar sus metas y alcances.

Si tiene alguna duda sobre este proyecto, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en él. Igualmente, puede retirarse del proyecto en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma. Si alguna de las preguntas durante la entrevista le parecen incómodas, tiene usted el derecho de hacérselo saber al investigador o de no responderlas.

Con base en la **LEY FEDERAL DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES EN POSESIÓN DE LOS PARTICULARES**, su información se maneja de acuerdo con ella.

Desde este momento le agradecemos su participación.

Consentimiento Informado

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por **Sandra Rodríguez Mondragón**.

He sido informado(a) de que la meta de este estudio es: **obtener datos estadísticos para definir la aportación al diseño que se puede realizar por medio del proyecto de investigación “Experimentación de tecnologías CAD CAM en el ámbito del modelado paramétrico para la conformación de productos cerámicos artísticos”, y mantener o modificar sus metas y alcances.**

Tengo conocimiento de que esta información será publicada en primera instancia en una tesis para obtener el grado de maestría en Diseño de la alumna Sandra Rodríguez Mondragón, artículos de divulgación en revistas impresas y electrónicas, diaporamas y publicación de al menos un libro con los resultados de dicha investigación.

Me han indicado también que tendré que responder **un cuestionario y 10 preguntas en una entrevista**, lo cual tomará aproximadamente **30 minutos**.

Reconozco que la información que yo provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y no será usada para ningún otro propósito fuera de los de este estudio sin mi consentimiento.

He sido informado de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mi persona. De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar a Sandra Rodríguez Mondragón.

Entiendo que una copia de esta ficha de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar a Sandra Rodríguez Mondragón vía telefónica o por correo electrónico: al teléfono 04455 32 84 99 09 , correo electrónico **srm@azc.uam.mx**

Nombre del Participante	Firma del Participante	Fecha

Cuadro resumen de las entrevistas

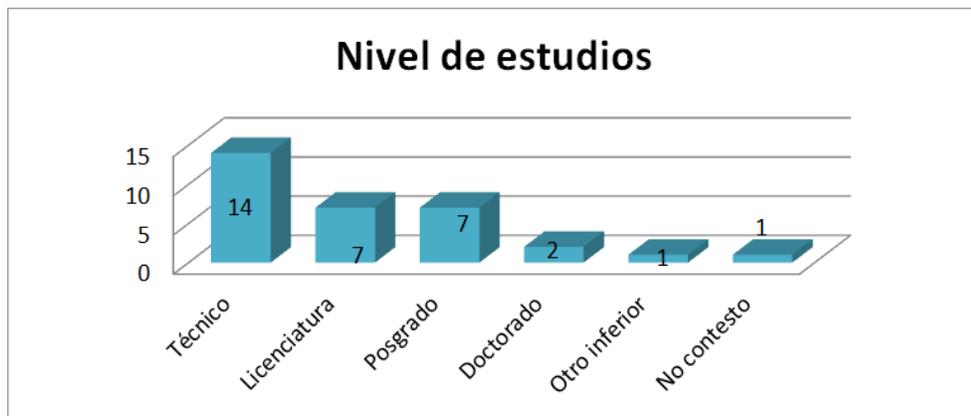
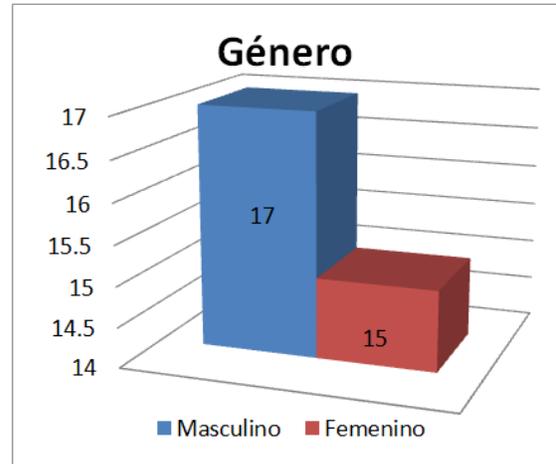
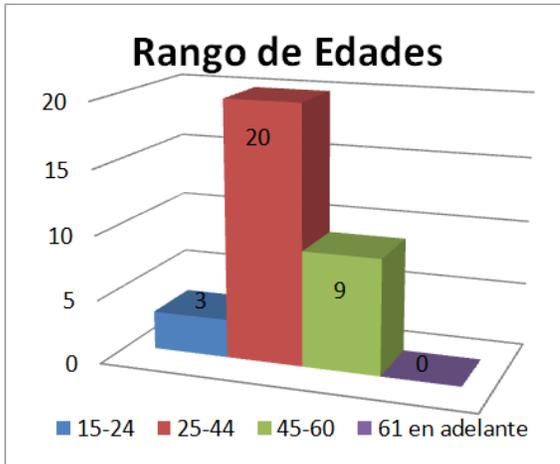
Preguntas	1		2		3	4
Numero de entrevista	¿Conoce el significado de las siglas CAD-CAM?		¿Ha aplicado tecnologías CAD CAM en sus procesos productivos?		¿Qué herramientas de CAD usa o ha usado en su proceso productivo?	¿Qué herramientas de CAM usa o ha usado en su proceso productivo?
	Si	No	Si	No		
1	X		X		No lo ha usado debido a que su proceso es artesanal semi industrial	No lo ha usado debido a que su proceso es artesanal semi industrial
2	X		X		Adobe, Sketchup, Autocad, Inventor	Rapid Prototyping, Scanner 3D
3		X	X		En la producción de obra fotográfica de pequeño y gran formato, en el desarrollo de revistas digitales, entre otros.	Tejas conductivas. El desarrollo de un esqueleto con sensores de contacto. Impresiones 3D y ha realizado experimentación con estas tecnologías.
4	X		X		Autocad, Design CAD	Stereo Litografía
5		X		X	Programas de modelado 3D	Printografía digital y llevado a 3D, Rapid Prototyping, scanner
6		X		X	Scanner y software. Desarrollo de obra gráfica por medio de capas. Divulgación de obra en redes sociales.	
7	X		X		Por medio de ANSYS se diseñaron prototipos y se analizó la geometría del objeto	Rapid Prototyping, se realizó análisis de elementos finitos
8	X		X		Trabaja capacitando alumnos para generar modelos en CAD	Trabaja capacitando alumnos para materializar los modelos
Preguntas	5		6		7	8
Numero de entrevista	¿En que forma beneficia el CAD a los procesos?		¿Cuáles son las desventajas del uso del CAD CAM?		¿Cómo puede el CAD CAM beneficiar a los procesos cerámicos?	¿En qué puede incursionar el CAD CAM en la producción de cerámica artística?
1	Se puede usar en los procesos industriales, en control de procesos, en control de calidad, en control de contenido de pasta, en la impresión de etiquetas, en el control		Las desventajas es que las piezas producidas pierden sensibilidad y se vuelven "frías". A veces no hay relación entre la capacidad de la máquina y la capacidad de la persona que la usa, se necesita un nivel de especialización		Puede beneficiar a la industria en las grandes fabricas pero no en la industria artesanal.	Se debe luchar por un interfaz más sencilla, que refleje el sentir humano. Todo debe ir acompañado de el conocimiento para que esto se pueda usar y buscar las soluciones que permita que los productos sean más reales. Y es importante darle un enfoque social a este desarrollo.
2	Los eficientiza.		No hay contacto directo para la realización de la obra por la interfaz. Es difícil comprender el lenguaje para poder usar el CAD. El costo es más elevado que los		Es necesario primero identificar sus aplicaciones y a partir de conocer las tecnologías poderlas aplicar en el proceso de la generación de obra.	En todo, prototipado, en la fase creativa, escalado de modelos, moldes, etc. En el Modelo General del Proceso de Diseño, se puede aplicar en todas sus etapas: caso, problema, hipótesis, realización y evaluación del producto.
3			No hay nada negativo y si es aplicable al arte, el medio del arte es un medio abierto a la exploración.		Sereañarán cortes de cerámica en crudo y gravado. Se ha trabajado con sensores en cerámica cruda para interpretar la cocción.	Las aplicaciones son infinitas. Se puede aplicar en los procesos de gravado de los objetos cerámicos. Esto dependera de la creatividad del artista o del creador.
4	Acelera los procesos, se pueden evaluar los resultados con mayor rapidez.		Es importante actualizar y conocer la interfaz. El uso es complejo. Se puede perder el valor por la intervención		En procesos de carácter industrial. En donde no se busque originalidad. Transferir grabados con precisión al producto.	En el arte, en la experimentación. En la aplicación gráfica. Producir piezas en serie para después caracterizarlas. Se debe hacer un ejercicio creativo de exploración.
5	Eficientar los procesos		Se pierde la esencia de la persona haci la pieza. Las piezas son iguales y no tienen carácter.		Modelado.	Capacitación para el uso, para poder implementar en el proceso. Se pueden producir piezas y finalmente darle carácter individual a cada una para darles un toque personal.
6			No tiene desventajas, todo depende del uso que se le de.		se pueden hacer patrones para producir las piezas.	Tiene posibilidades ilimitadas, para traducir obra y producir obra y difundir la obra.
7	Se elimina el error humano, se eficientiza la		No hay desventajas.		Darías a conocer y capacitar a los ceramistas para su uso.	Acabados, texturas y colores.
8	Permite el modelado de prototipos con mayor eficiencia, evaluar las ideas, prevenir errores, es importante la capacidad de repetición de modelos que se puede lograr		Las personas lo perciben como algo sencillo y no lo es y se requiere de una capacitación y una preparación para realizarlo. Los costos de estas tecnologías son elevados en términos de prototipado, en la industria se logra el equilibrio por la producción a gran escala.		Existen procesos susceptibles de mejora tales como el control de temperaturas en los hornos, en la industria de los recubrimientos cerámicos, en los procesos de modelado. Es necesario realizar una exploración para detectar áreas de oportunidad.	En el proceso de conformado de la obra y en cuestión de acabados, valiendose de simulación para lograr el producto. En la industria tradicional mexicana se puede incursionar en el caso de los recubrimientos, pero es necesario tomar en cuenta que el proceso artesanal tiene un valor que no se debe perder. Hay una serie de posibilidades muy grande.

Instrumento 2: Encuesta

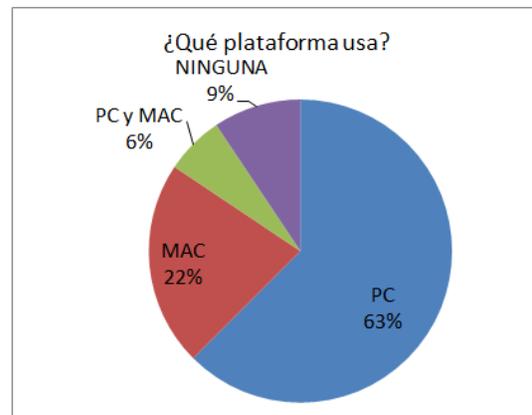
Objetivo: Obtener una estadística del conocimiento que se tiene del CAD CAM en el medio de la Cerámica artística.

<p>Información para el encuestado: La presente encuesta es levantada con el objeto de obtener una estadística de la percepción que se tiene del CAD CAM en el medio artístico.</p>			
<p>Instrucciones: Maque con una X la opción a la respuesta que indique su estado u opinión, si tiene duda en alguna de las preguntas indíquelo con una letra D al final de la pregunta y cancele todas las respuestas con una diagonal /.</p>			
1. Edad			
<input type="checkbox"/> 15 - 24	<input type="checkbox"/> 25 - 44	<input type="checkbox"/> 45-60	<input type="checkbox"/> 61 en adelante
2. Sexo			
<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M		
3. Nivel de estudios			
<input type="checkbox"/> Técnico	Indique qué carrera _____		
<input type="checkbox"/> Licenciatura	Indique qué carrera _____		
<input type="checkbox"/> Posgrado	Indique ¿cuál? _____		
<input type="checkbox"/> Otro	Indique ¿cuál? _____		
4. Usa usted computadora para realizar alguna actividad relacionada con sus trabajo			
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO		
5. Si su respuesta fue SI indique qué plataforma usa, Si su respuesta fue NO continúe en la pregunta 6			
<input type="checkbox"/> MAC	<input type="checkbox"/> PC		
6. El significado de las siglas CAD es:			
<input type="checkbox"/> Diseño Asistido por el computador	<input type="checkbox"/> Computer Aided Design	<input type="checkbox"/> Modelado tridimensional	<input type="checkbox"/> Ninguna de las anteriores
7. Indique si conoce alguno de los siguientes programas de CAD (marque todos los que conoce) :			
<input type="checkbox"/> Autocad	<input type="checkbox"/> Inventor	<input type="checkbox"/> 3D Max	<input type="checkbox"/> Maya
<input type="checkbox"/> Rhinoceros	<input type="checkbox"/> Revit	<input type="checkbox"/> Sketch Up	<input type="checkbox"/> Solid Works
<input type="checkbox"/> Catia	<input type="checkbox"/> Blender	<input type="checkbox"/> Otro, ¿cuál? _____	
8. El significado de las siglas CAM es:			
<input type="checkbox"/> Manufactura asistida por computadora	<input type="checkbox"/> Mecánica asistida por computadora	<input type="checkbox"/> Computer Aided Manufacturing	<input type="checkbox"/> Ninguna de las anteriores
9. El CAD CAM es aplicable a los procesos cerámicos			
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO		
10. ¿Conoce algún artista que use CAD o el CAM para la generación de su obra?			
<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SI ¿quién? _____		
En esta sección puede anotar observaciones y comentarios con respecto la encuesta			

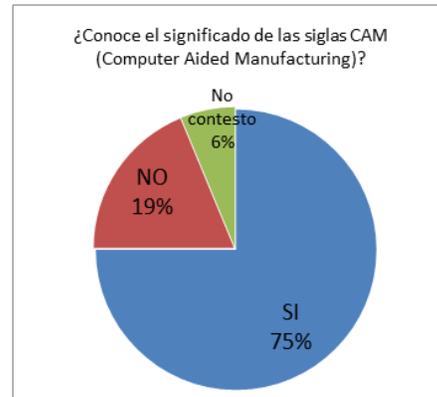
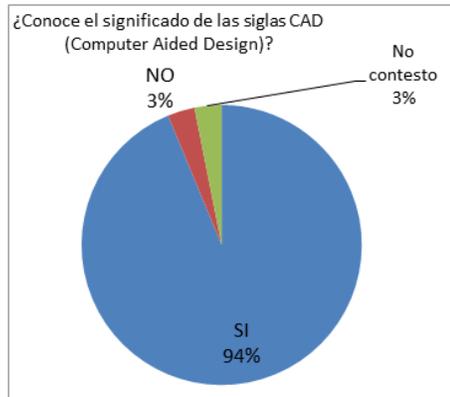
De las encuestas ya aplicadas se desprenden algunas características de los sujetos de estudio en las preguntas 1 a la 3:



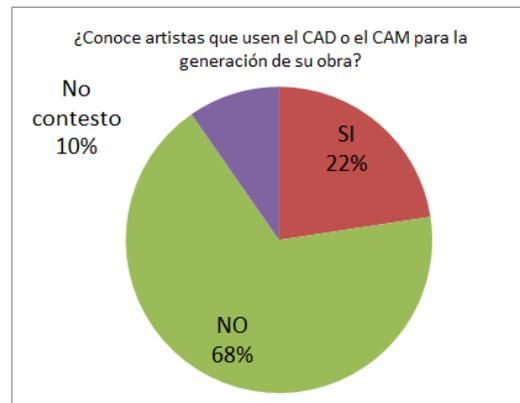
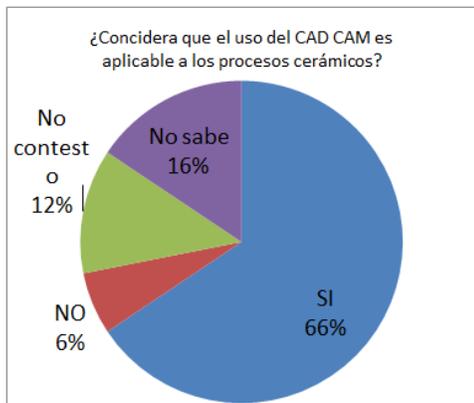
Las preguntas 4 y 5, permitieron saber si los ceramistas y artistas encuestados usan computadoras para realizar su trabajo:



Las preguntas 6 y 8 permitieron identificar que la mayoría de los ceramistas y artistas encuestados tienen conocimiento del CAD CAM y se detectó que el CAD es más conocido que el CAM.



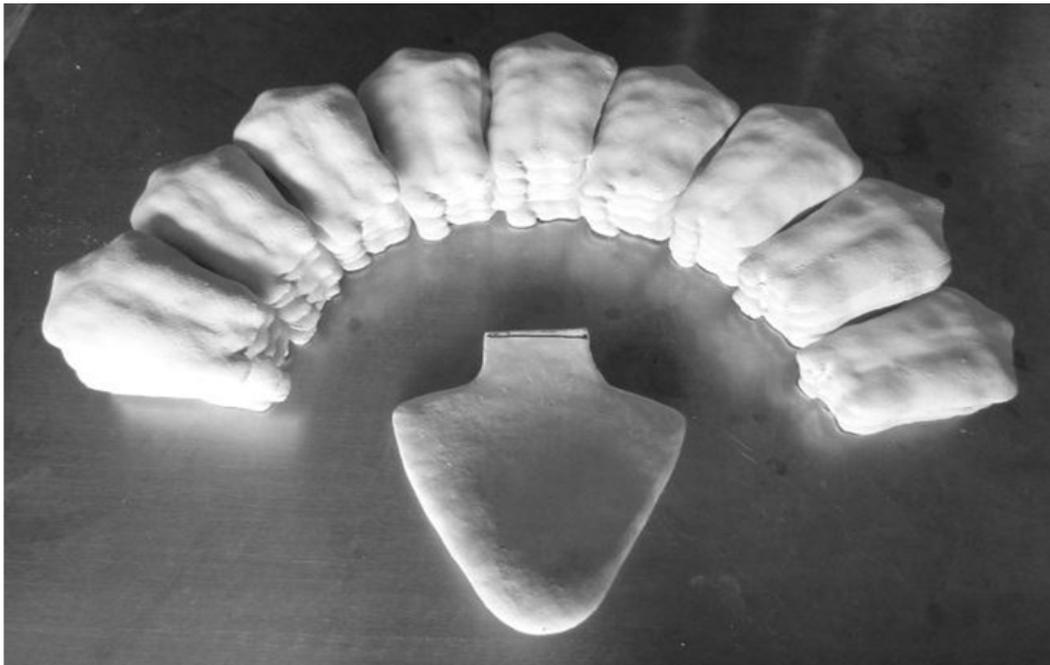
Las preguntas 9 y 10 están enfocadas a saber si en el medio de la cerámica se percibe con buenos ojos al CAD CAM como herramienta de generación de obra, lo cual se confirmó; pero también se pudo constatar que los artistas que producen obra por medio de estas tecnologías no son muy conocidos.



Y el último dato que se obtuvo de la encuesta fue, qué tan conocidos son los programas de CAD que yo conozco y con los cuales podría trabajar en el proyecto de investigación; siendo AUTOCAD el más conocido y Blender y Catia los menos conocidos.



Anexo B. CREAFORM



“Escaneo de una pieza cerámica con un escáner CREAFORM modelo EXAscan, para obtener modelos y producir módulos cerámicos”



“Escaneo de una pieza cerámica con un escáner CREAFORM modelo EXAscan, para obtener modelos y producir módulos cerámicos”

Resumen

En este ejercicio de experimentación se evaluó el comportamiento de un modelo cerámico realizado en pasta rosada de alta temperatura sancochada, ante el proceso de escaneo con un escáner CREAFORM modelo EXAscan. Se exploran las posibilidades que permitan la reproducción del modelo obtenido a partir del escaneo, en los programas Autodesk Maya 2014, Rhinoceros 5.0, Autodesk 3DMax 2013 y Autodesk Inventor 2013, con objeto de imprimirlo en estereolitografía.

Palabras clave: **escaneo, escáner, modelo, estereolitografía**

Abstract

This experimental exercise evaluated the behavior of a model in high temperature boiled, Clay for Pottery, before the scan with a scanner CREAFORM EXAscan model. We explore the possibilities to allow the reproduction of the model obtained from the scan, the software Autodesk Maya 2014, Rhinoceros 5.0, Autodesk 3DMax 2013 and Autodesk Inventor 2013 and in order to print it in stereolithography.

Contenido

- Introducción
- 1. Procedimiento de escaneo
- 2. Proceso de revisión del modelo CAD en Autodesk Maya 2013.
- 3. Procedimiento de revisión y correcciones al modelo CAD en Rhinoceros 5.0.
- 4. Proceso de revisión y correcciones al modelo CAD en Autodesk 3DMax 2013.
- 5. Procedimiento de reproducción del modelo CAD en Autodesk Inventor 2012

Conclusiones
Recomendaciones
Fuentes consultadas

Especificaciones	
Peso	1.25 Kg
Dimensiones	172 x 260 x 216 mm
Velocidad de medición	25,000 medidas/s
Tipo de Láser	II (seguro para la vista)
Rango e temperaturas de funcionamiento	15 – 40 °C
Rango de humedad de funcionamiento (sin condensación)	10 – 90 %
Resolución	0.050 mm
Precisión	Hasta 0.040 mm
Exactitud volumétrica*	0.02 mm + 0.100 mm/m
Precisión Volumétrica (con max Shot 3D)*	0.02 mm + 0.025 mm/m
Distancia de Seguridad	300 mm
Profundidad de campo	+/- 150 mm
Área transversal del láser	210 mm x 210 mm 60 mm x 60 mm (alta res)
Resolución de la textura	N/C
Textura de los colores	N/C
Software	VXelements
Formatos de Salida	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr
Alcance del tamaño de las partes	4 m (recomendado)
Aplicaciones	Sectores
Ingeniería Inversa, diseño y estilo	Automovilismo/Transporte
Inspección	Aeronáutica
FEA(análisis de elementos finitos)	Productos para el consumidor
CFD(Dinámica de Fluidos Computacional)	
Desarrollo de prototipos	Fabricación
*Según el estándar ISO 10360, la exactitud volumétrica se define como un valor que depende del tamaño	

TABLA 1 [2]

Con objeto de producir modelos a escala nos dimos a la tarea de escanear el modelo ya sancocado para obtener los bocetos en formato CAD susceptible de aplicación en estereolitografía.

1. Procedimiento de escaneo

- 1.1. Para el escaneo de modelos con el escáner EXAscan se debe contemplar que los modelos deben ser con acabados opacos, puesto que cuando se presentan superficies brillantes el haz de luz del escáner se distorsiona enviando información equivocada y la forma del objeto en el modelo de CAD presenta errores.
- 1.2. Preparar el modelo para el escaneo consiste en dos pasos:
 - 1.2.1. Se colocan sensores al modelo, el número de éstos varía en función de la forma y tamaño del objeto (imágenes 6 y 7).
 - 1.2.2. Se coloca el objeto en una superficie de color negro, esto impedirá que el escáner envíe señales erróneas de la forma del objeto (imagen 7).

3



Imagen 5: EscánerCREAFORM®, ModeloEXAscan [2].



Imagen 6: Módulo cerámico "escama", vista superior con tres sensores para escaneo.



Imagen 7: Módulo cerámico "escama", vista inferior con tres sensores para escaneo, colocado sobre una superficie negra con sensores que permite el envío de datos de escaner.

4



Imagen 8: Monitor del escáner, vista superior del modelo captado por el escaner.

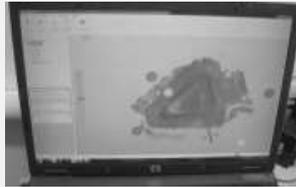


Imagen 9: Monitor del escáner, vista inferior del modelo captado en formato CAD. En esta toma se pueden ver en color rojo y blanco, los nodos de los sensores colocados tanto en el módulo cerámico, como en el área de trabajo del escaner.



Imagen 10: Escaneo de la vista superior del módulo cerámico.



Imagen 11: Escaneo de la vista lateral del módulo cerámico "escama". En este caso fue necesario colocar un soporte para poder captar las vistas laterales de la pieza.

1.3. De acuerdo con la imagen proyectada en el monitor, se determina si es necesario continuar enviando datos para obtener el modelo en CAD con las características formales del objeto real. Cabe mencionar que para escanear objetos con el escáner CREAFORM® EXAScan, las piezas deben ser preferentemente de color mate debido a que un material brillante distorciona la imagen que se crea en el proceso de escaneo; otro requerimiento del proceso es que la pieza escaneada debe colocarse a 30 cm del escaner (imagen 10). En este caso en particular la principal dificultad con la que nos topamos al realizar el escaneo fue la colocación de la pieza para lograr captar su geometría, debido a que por ser muy delgada fue difícil obtener la información de las vistas laterales (imagen 11).

1.4. El modelo que se genera en CAD, puede tener geometría que no pertenece al objeto, necesitar correcciones o el fin para que fue escaneado está dirigido a captar la forma básica y a partir de ella desarrollar un modelo diferente y por ello el archivo se debe editar en el software del equipo (VXelements) o en alguno de los formatos compatibles: .dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .wrl, .stl, .txt, .x3d, .x3dz y .zpr.

2. Proceso de revisión y correcciones al modelo CAD en Autodesk Maya 2013

En este caso el modelo se trabajó en primera instancia en formato **.ma** en el programa Maya, versión 2014 (imagen 12). Se detectó un modelo con secciones muy complejas a razón de un mado fino, esto producto de la gran resolución del escáner CREAFORM® EXAScan con una precisión de hasta 0.040 mm (imágenes 13 y 14).

Sin embargo para efectos del modelo que se está trabajando no es necesario este nivel de detalle y por ello se decide explorar otros formatos que permitan simplificar el proceso de corrección del modelo para su posterior impresión en estereolitografía.

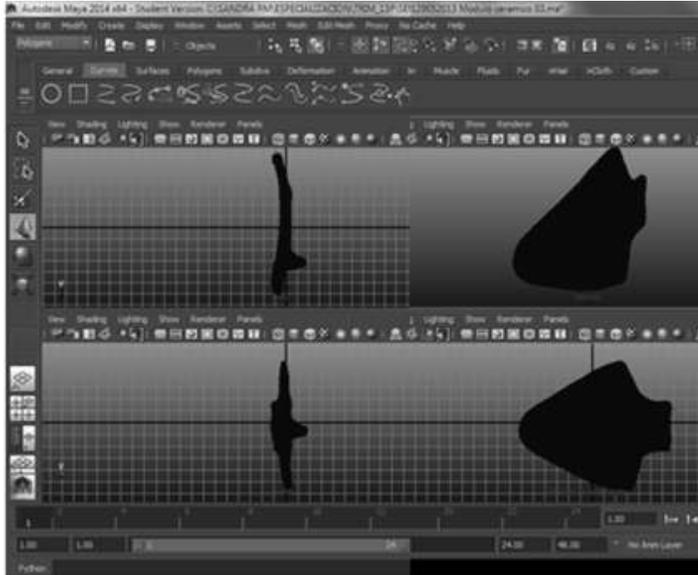


Imagen 12: vistas generales del módulo cerámico “escama”, impresión de pantalla en el programa Maya 2014.

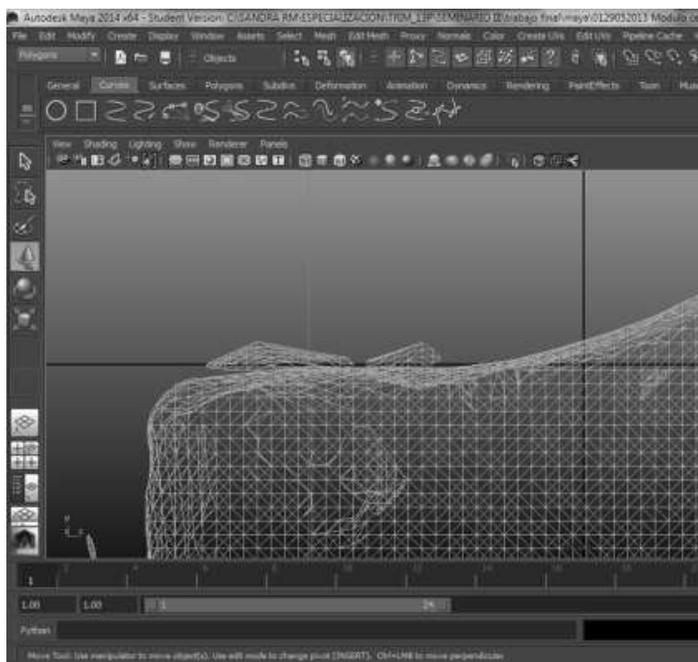


Imagen 13: vista lateral de una sección del módulo cerámico “escama”, impresión de pantalla en el programa Maya 2014.

Con base en el nivel de detalle que se observa en el modelo CAD de Maya (imágenes 12 y 13), se determina que muy probablemente trabajando el modelo en otros programas se pueden lograr resultados con mayor facilidad.

La razón para no modificar el modelo en Maya es consecuencia del tamaño del archivo, que en este caso es de 28 MB, lo que demanda un hardware con más de 6 MB de memoria RAM, mismo del que se carece en el momento de trabajar con el modelo. Por lo anterior la manipulación del modelo se dificulta en Maya y se procede a explorar el archivo en otros programas que permitan manipular este modelo con menor complejidad y rapidez.

6

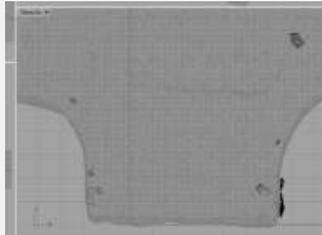


Imagen 15: vista frontal de una sección del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Rhinoceros 5.0.

En esta vista se pueden observar en color negro los trazos que no pertenecen a la forma original del objeto, e puede observar que hay secciones de este tipo dentro y fuera del modelo.

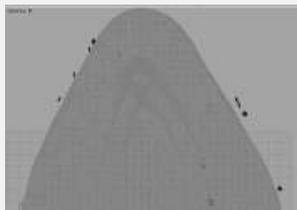


Imagen 16: vista frontal de una sección del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Rhinoceros 5.0.

En esta vista se pueden observar en color negro los trazos externos que no pertenecen al objeto.

3. Procedimiento de revisión y correcciones al modelo CAD en Rhinoceros 5.0

Entre las opciones de tipos de archivos que se pueden generar con el escáner EXAscan se encuentra el STL, que es compatible con el programa Rhinoceros versión 5.0 y es con éste con el que se edita el modelo.

3.1. Se recupera el archivo en formato .stl importándolo en el programa Rhinoceros 5.0 y se convierte al formato de uso del programa (.3dm), ver imagen 14 a continuación:

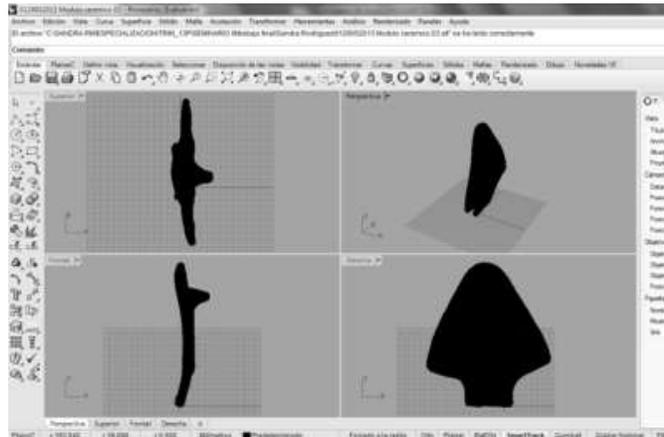


Imagen 14: vistas generales del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Rhinoceros 5.0.

3.2. Ya dentro del programa se inicia eliminando la geometría que no pertenece al objeto escaneado (imágenes 15 y 16). Dependiendo del modelo se pueden presentar trazos internos o externos; valiendose de las herramientas propias del programa se procede a seleccionar las secciones de trazo a eliminar.

3.3. Cuando el dibujo está limpio de geometría externa e interna, se revisa para detectar si presenta superficies incompletas u otro tipo de irregularidades en la forma.

3.4. En este caso cuando se revisó minuciosamente el modelo, se detectan secciones con superficies incompletas y secciones irregulares (figuras 17 y 18), ésto se debe corregir con herramientas propias del programa. Las observaciones anteriores demuestran que el modelo requiere de más correcciones antes de imprimir (figura 19).

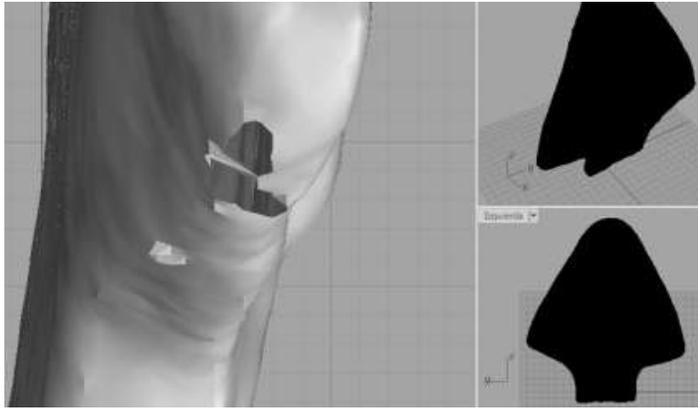


Imagen 17: vista lateral de una sección del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Rhinoceros 5.0. En esta vista se pueden observar los huecos que se forman por las superficies incompletas.

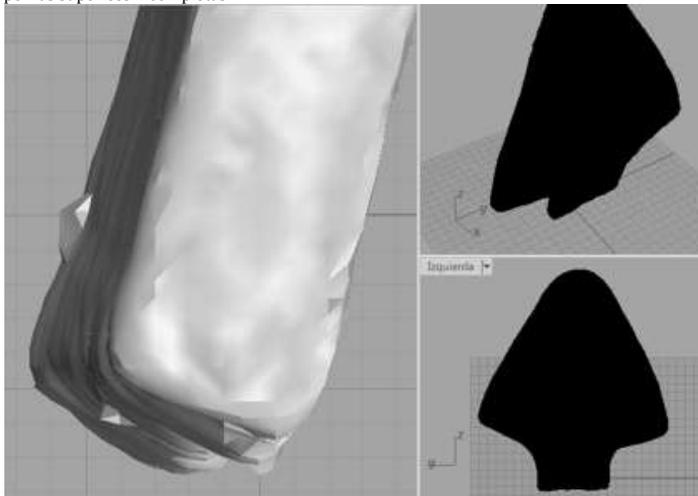


Imagen 19: vista isométrica de una sección del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Rhinoceros 5.0. En esta vista se pueden observar las protuberancias que presenta el modelo.

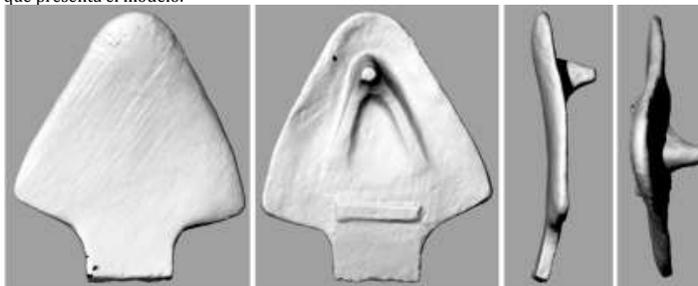


Figura 19: Renders generados en Rhinoceros 5.0, las secciones que aparecen en color negro en las vistas superior e inferior corresponden a secciones donde la superficie está incompleta y no se ha podido corregir con el programa.

El procedimiento antes descrito fue retomado del trabajo realizado por José Ma. Tejado quién emplea Nuevas Tecnologías para el registro, la conservación y la difusión de Patrimonio Arqueológico, usando un escáner 3D y RP, realizando copias digitales de objetos arqueológicos como medida cautelar de preservación (Tejado, 2005). La diferencia entre lo aquí presentado y lo hecho por Tejado radica en el tipo de productos escaneados, el equipo usado y el objetivo de la investigación.

Esta investigación plantea explorar procesos y técnicas para conocer el procedimiento idóneo que permita obtener modelos CAD generados a partir de modelos realizados en materiales cerámicos, para reproducirlos y crear matrices de posibilidades de desarrollo de las formas generadas por el artista.

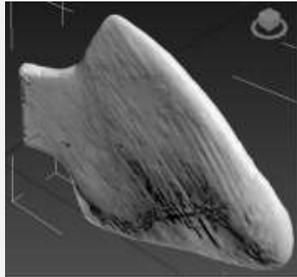


Imagen 20: vista en perspectiva del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa Autodesk 3DMax 2013. En esta vista se pueden observar las irregularidades que se generarán en el proceso de escaneo

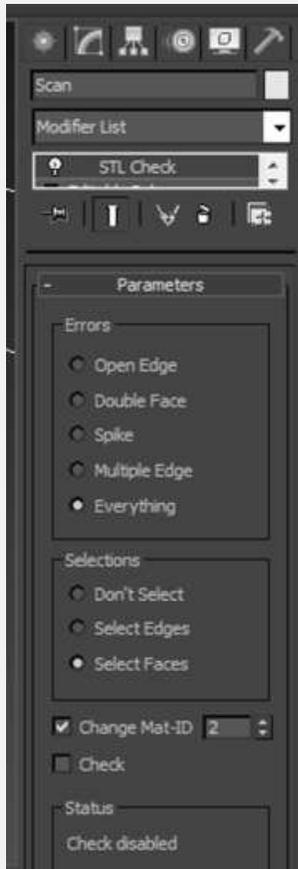
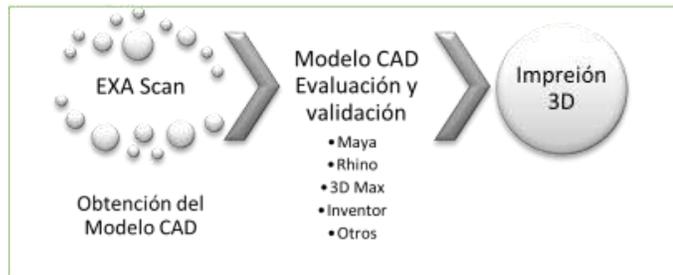


Imagen 21: impresión de pantalla en el programa es Autodesk 3DMax 2013, menú de herramientas de STL Check.

En el proceso de exploración en los programas de CAD Maya y Rhinoceros fue complejo y es importante resaltar que las NT en materia de generación de modelos 3D implican un **proceso intermedio**, entre la etapa de escaneo y la de impresión, este proceso demanda un nivel de especialización del modelista que realice dicha actividad, a fin de que este pueda determinar el procedimiento que permita eficientemente lograr modelos CAD adecuados para la impresión. Esto se presenta esquemáticamente a continuación:



Esquema 1 (Autoría propia)

4. Proceso de revisión y correcciones al modelo CAD en Autodesk 3DMax 2013

Hata este momento el procedimiento realizado demostró no ser suficiente para la materialización (impresión) del modelo, por ello se exploró un tercer software que nos dio la posibilidad de coregir errores del modelo con mayor precisión, dicho software es Autodesk 3DMax 2013, el cual cuenta con herramientas dirigidas directamente a la generación de modelos para desarrollo en estereolitografía (imágenes 20 y 21); dicha heramienta es **STL Check**, la cual evalúa puntualmente el modelo y permite esto a partir de los diferentes aspectos en los que se pueden generar errores en el proceso de estereolitografía tales como líneas abiertas, superficies duplicadas y líneas duplicadas. Y también permite evaluar el modelo por secciones de datos, que se pueden seleccionar fácilmente con las herramientas del programa (imagen 22).

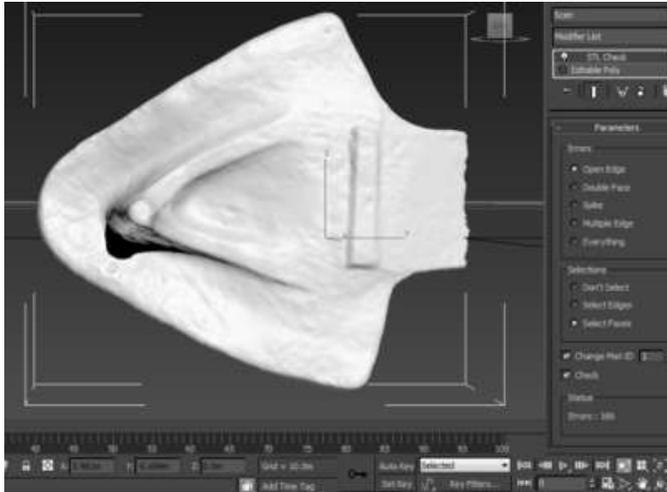


Imagen 22: vista inferior del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk 3DMax 2013. En esta vista se pueden observar que se detectaron 166 errores provocados por secciones abiertas.

Las herramientas que se acaban de describir permiten ver, contabilizar y visualizar los errores que se presentan en el modelo y también indica cuando las secciones dañadas ya se han corregido (ver imágenes 23 y 24).

Finalmente Autodesk 3DMax 2013, permitió evaluar y corregir el modelo para su posterior impresión en estereolitografía.

5. Procedimiento de reproducción del modelo CAD en Autodesk Inventor 2012

Tomando como base los dibujos obtenidos de Rhinoceros 5.0 (imagen 19) se modela la pieza directamente en Inventor 2012, esto permite generar un modelo CAD nuevo, pero que mantiene las dimensiones y forma del modelo original, lo anterior permite corregir errores geométricos del modelo original.

5.1. Dentro del programa en pantalla de boceto (sketch), se abre la imagen del dibujo del modelo y se redibuja en modelo tomando como base la forma obtenida del modelo original (ver imagen 25)

5.2. Al concluir el primer boceto se genera un bloque de material que permita continuar trabajando con los perfiles del modelo (ver imagen 26).

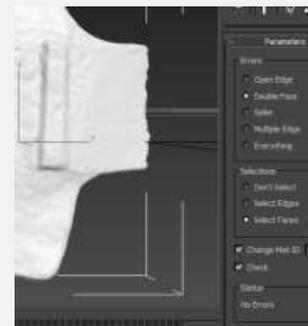


Imagen 23: vista inferior del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk 3DMax 2013. En esta vista se pueden observar el resultado de la evaluación donde el programa no detecta errores de superficies duplicadas.

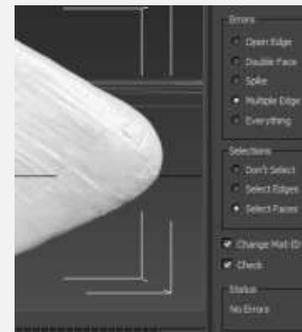


Imagen 24: vista inferior del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk 3DMax 2013. En esta vista se pueden observar el resultado de la evaluación donde el programa no detecta errores de aristas duplicadas.

10



Imagen 27: vista lateral del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk Inventor 2013. En esta vista observa el dibujo que se trazo para obtener perfil del modelo.



Imagen 28: vista lateral del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk Inventor 2013. En esta vista observa modelo con la proyección de las vistas del módulo cerámico que se usaron para su realización (lateral y superior).



Imagen 29: vista lateral del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk Inventor 2013. En esta vista observa modelo que se logro con el programa.

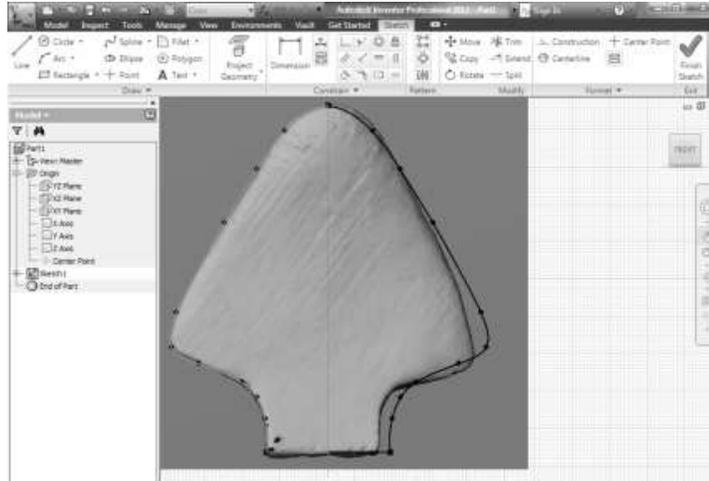


Imagen 25: vista superior del módulo cerámico "escama", impresión de pantalla en el programa es Autodesk Inventor 2013. En esta vista se pueden observar que al redibujar el modelo éste presenta errores de simetría.

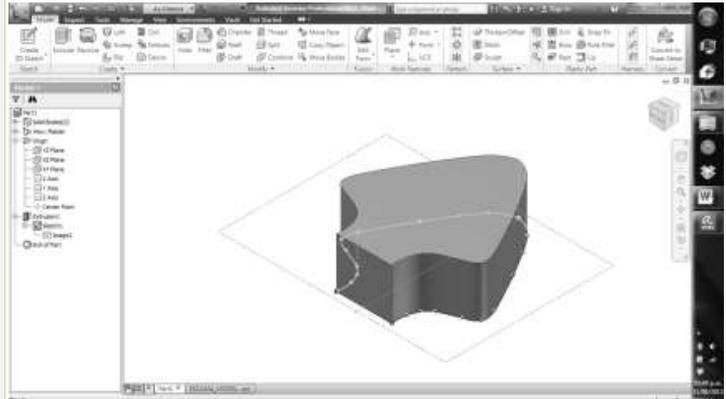


Imagen 26: vista isométrica del primer boceto del modelo del módulo cerámico, impresión de pantalla en el programa es Autodesk Inventor 2013.

5.3. El desarrollo del modelo consistirá en continuar trabajando el modelo de Inventor 2013 con las vistas del modelo cerámico, en este caso con la vista superior y la vista lateral se logró un modelo de calidad refiriéndonos estrictamente a la forma y funcional para estereolitografía (ver imágenes 27, 28 y 29).

Cabe mencionar que al redibujar el modelo se logran formas geométricas de mayor precisión y se pueden corregir defectos formales que se generan por las características propias del material. En el desarrollo de este modelo, finalmente se hacen correcciones al diseño del modelo cerámico omitiendo el detalle en la base del objeto.

Conclusiones

El proceso de escaneo de modelos cerámicos en el escáner EXAscan, es muy sencillo, sin embargo este equipo excede las necesidades de precisión que un modelo cerámico demanda puesto que el nivel de detalle con que el equipo trabaja, en este caso, generó irregularidades en el modelo CAD; se debe considerar que el EXAscan tiene una precisión de 0.040 mm (0.004 cm) y el modelo cerámico que se trabajó es de 10.0 x 8.0 x 2.0 cm, por ello en el proceso de escaneo se formaron superficies complejas e irregulares que el modelo originalmente no tenía.

En este ejercicio se aprovecharon las vistas generales obtenidas del modelo CAD que se generan a partir del escaneo y por medio de éstas en Autodesk Inventor 2013 se trazó un modelo preciso y de calidad.

Una aportación más de este ejercicio de experimentación es el aprovechamiento del módulo de herramientas con que cuenta Autodesk 3D Max, propias para evaluar un modelo de CAD que se pretende desarrollar en estereolitografía, debido a que por medio de éste se pueden evaluar modelos de las diversas plataformas que son compatibles con dicho programa.

Recomendaciones

Se sugiere trabajar el escáner a mayor distancia del modelo, más de 30 cm y preferentemente más de 1 m, como ejercicio de experimentación con objeto de obtener un modelo CAD con menos precisión y un mado menos fino, esto tomando en cuenta las especificaciones del proveedor.

En este ejercicio solo se evaluaron tres formatos de desarrollo de modelos CAD pese a que el escáner tiene una compatibilidad con 11 diferentes tipos de formatos y es importante continuar con la experimentación a fin de detectar el formato ideal para cumplir con el objetivo de esta investigación eficientemente.

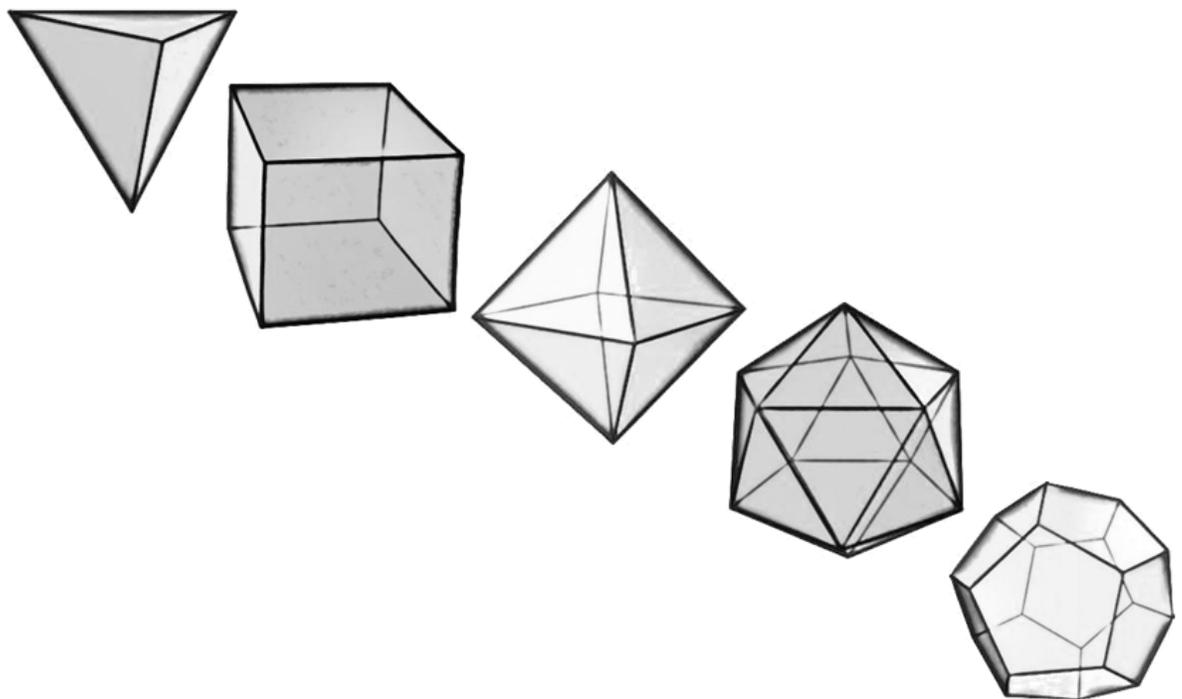
Se propone experimentar con modelos de otros materiales, en este caso la pasta cerámica de alta temperatura presenta partículas oscuras en el cuerpo del objeto, por lo que éste pudo interferir con el proceso de escaneo. Tocante a esta misma temática se pueden usar modelos con acabados con esmalte cubriente en tonos mate a fin de evaluar su comportamiento ante el escáner.

Fuentes consultadas

- 1) Autodesk Education Community (2013), 20/08/13 22:00 h. Recuperado de: students.autodesk.com
- 2) Creaform (2013). Soluciones de medición 3D portátiles. Catálogo de productos, 20/06/13 21:00 h. Recuperado de: http://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/brochures/files/handyscan/handyscan3d_brochure_spa_03042013.pdf
- 3) Miranda, Gabriela (2013). Una mirada a CyAD. Entrevista con su director Luis Carlos Herrera Gutiérrez de Velasco. Aleph, Marzo 2013, Año 17, Volumen 5, Número 181, marzo de 2013, ISSN 1665-0638, 18/06/13 20:00 h. Recuperado de: <http://www.azc.uam.mx/aleph/numeros/aleph181.pdf>
- 4) Tejado Sebastián, José María (2005). Escaneado en 3D y prototipado de piezas arqueológicas: las nuevas tecnologías en el registro, conservación y difusión del patrimonio arqueológico. IBERIA, No. 8 p 135 – 158, 24/01/13 15:57 h. Recuperado de dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2526197.pdf

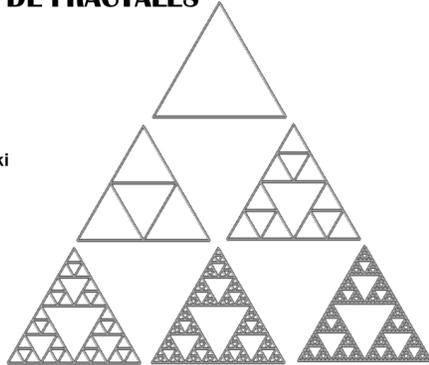
Anexo C. “Sólidos platónicos”

SOLIDOS PLATÓNICOS



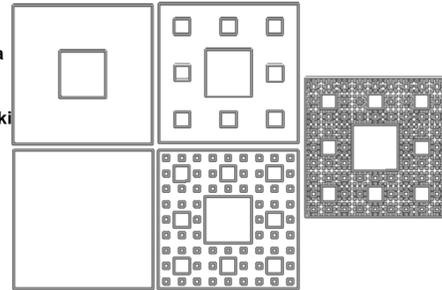
TEORIA DE FRACTALES

- El triángulo de Sierpinski

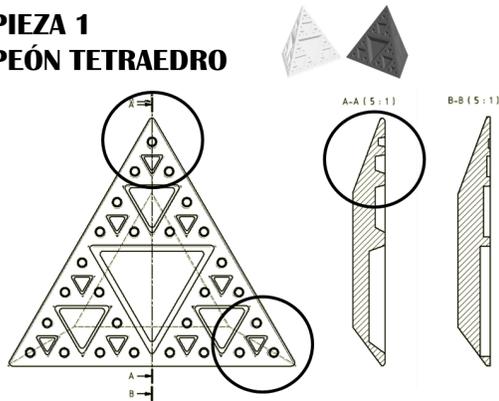


TEORIA DE FRACTALES

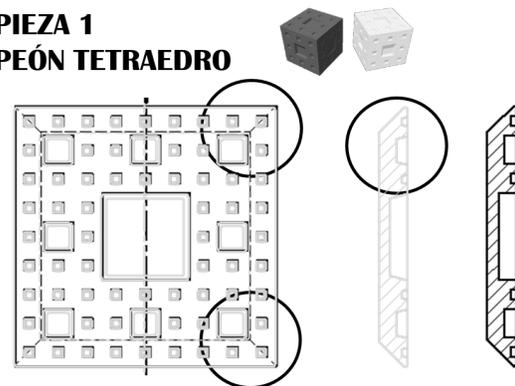
- La Alfombra de Sierpinski



PIEZA 1 PEÓN TETRAEDRO

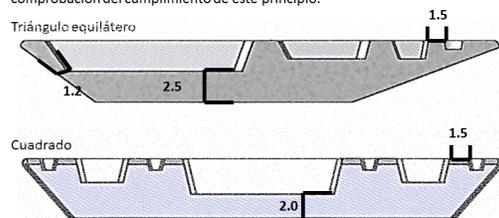


PIEZA 1 PEÓN TETRAEDRO



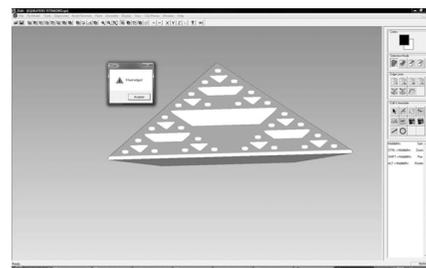
CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN MODELADO 3D

De acuerdo con Rapid Prototyping, es necesario que no existan secciones sólidas de menos de 1.02 . En estas imágenes se muestra la sección transversal de 2 módulos básicos y la comprobación del cumplimiento de este principio.



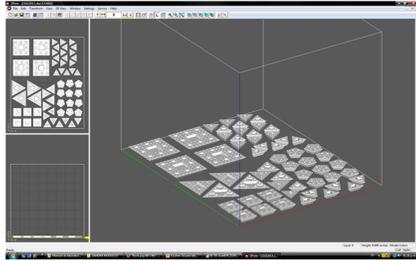
CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN MODELADO 3D

La impresora 3D cuenta con software llamado ZEDIT que verifica el cumplimiento de la restricción antes mencionada.



CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN MODELADO 3D

Antes de imprimir los modelos fue necesario hacer una distribución de las piezas a imprimir en Zprint, esto genera un archivo con extensión zbd.

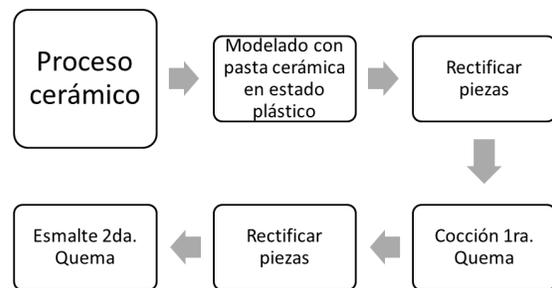
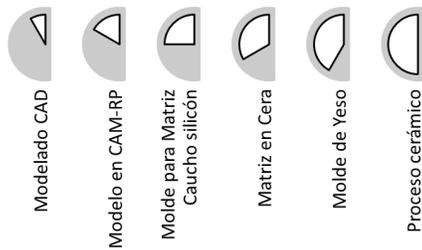


IMPRESIÓN 3D

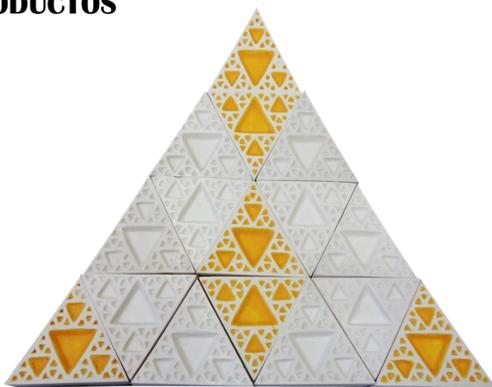
El archivo de Zprint se envía a producción a la impresora 3D.



PRODUCCIÓN



PRODUCTOS



Anexo D. Análisis de productos existentes

Objetivo de la actividad: Realizar análisis basado en las leyes del orden y la taxonomía. El resultado de este estudio refiere a la clasificación de los productos existentes en el mercado y a productos análogos que pueden ofrecer soluciones en el desarrollo del proyecto, de tal modo que deben determinar cuál será la técnica a través de la cual se organizarán los productos y qué clasificación les corresponde.

Técnica de clasificación

1. Búsqueda de información. Se realizó una búsqueda en internet bajo la descripción de MÓDULOS CERÁMICOS y se seleccionaron 13 productos con base en el criterio de clasificación de acuerdo con el USO, donde se detectan los siguientes usos:
 - a) Decoración para exteriores
 - b) Mosaico decorativo de usos múltiples
 - c) Mural escultórico
 - d) Con el mismo criterio de búsqueda se detectan otros usos diversos:
2. Otros usos:
 - a) Cortinas de cerámica
 - b) Escultura
 - c) Estantería
 - d) Jardinería

Productos existentes

Del análisis de estos productos se obtienen las siguientes estadísticas que permite detectar las características más comunes en estos objetos de cerámica modular, clasificándolas en tres grupos de características: de apariencia, geométricas y de modularidad.

Productos análogos

Usando como base el análisis de productos existentes se determina que las variables principales a resolver por medio de un análisis de productos análogos son las referidas a la modularidad: formas de acomodo o ensamblado. Se seleccionan 3 productos para extraer soluciones que permitan el ensamblaje que facilite la modularidad paramétrica.

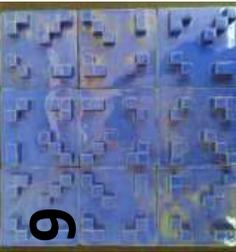
Fuentes de las imágenes. A modo de repentina, se consultaron las siguientes fuentes el día 6 de junio de 2013:

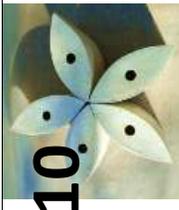
1. http://www.designmagazine.es/wp-content/uploads/2013/02/Atlas_vista_1.jpg 10:01
2. http://blog.pucp.edu.pe/media/242/20080826-shapeimage_3-1.jpg -10:20
3. <http://gatzelujerezblog.wordpress.com/category/los-abuelos-modernos/> 11:00
4. <http://blog.uchceu.es/docu/files/2013/01/la-foto-2-638x509.jpg> 14:00
5. http://1.bp.blogspot.com/_ph5bf6ORUEE/TT8ddJimDRI/AAAAAAAAACU/ICBUwkhHV34/s1600/MosaicoAndalusi%25CC%2581.jpg 14:28
6. http://www.escartinlam.com/photos/main.php?g2_view=core.DownloadItem&g2_itemId=831&g2_serialNumber=2 14:55
7. <http://www.google.com.mx/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&docid=h4uwt4i3cyjNoM&tbnid=utK1mY5eTIHORM:&ved=0CAUQjRw&url=http%3A%2F%2Fblog.ceramicasantelmo.es%2Fpage%2F2%2F&ei=GRnLUei3LILW9QSO24G4Aw&psig=AFQjCNES9DHAcpovlw0-4Ps4zfPg0eENdA&ust=1372350336067258>
8. <http://2.bp.blogspot.com/-XXflj6GG-8c/TzmGAliak7I/AAAAAAAAACjA/xKvslA7XGLO/s1600/estrella+1.jpg> 15:03
9. www.ceramicaamanoalzada.com/fossile-extrusion-ceramica/ 16:00
10. http://farm3.static.flickr.com/2497/3786253824_01a98e3f67_o.jpg 16:45
11. http://bimg2.mlstatic.com/tapete-flexible-material-didactico-flexible-y-ensamble_MLM-F-2875725083_072012.jpg 17:23
12. <http://www.decoesfera.com/salon/crea-tus-propios-muebles-con-los-modulos-pacman> 17:33
13. <http://www.briconatur.com/briconaturblog/tag/carpintero/> 18:10

Decoración para exteriores						
PRODUCTO	COLOR(ES) Y ACABADO	FORMA	ENSAMBLEO ACOMODO	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	DESARROLLO DE MODULARIDAD	NÚMERO DE MÓDULOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO
 <p>1 Atlas_vista Fuente 1*</p>	Blanco Rosa Beige Mate	Hexagonal con bajo relieve 	Las aristas tienen la misma longitud y los bajo relieves coinciden entre sí	Forma: Simétrica, Regular Bajo relieve: Asimétrico, Regular	Radial Lineal: Transversal y Horizontal	1
 <p>2 Cerámica para fachada Fuente 2*</p>	Rosa Blanco Brillante	Cruz con alto relieve 	La distancia entre los vértices es la misma	Simétrica Regular	Radial Lineal: Transversal, Horizontal y Vertical	1
 <p>3 Pabellón de España en la Exposición Internacional de Aichi 2005. Alejandro Zaera, Farshid Moussavi (FOA). Detalle del revestimiento cerámico de fachada Fuente 3*</p>	Beige Amarillo Naranja Rojo Café Negro Brillante	Prismas Hexagonales Huecos y Sólidos  Prismas hexagonales sólidos y huecos para las esquinas 	Las aristas tienen la misma longitud y la altura es la misma	Simétrica Regular	Radial Lineal: Transversal y Horizontal	4

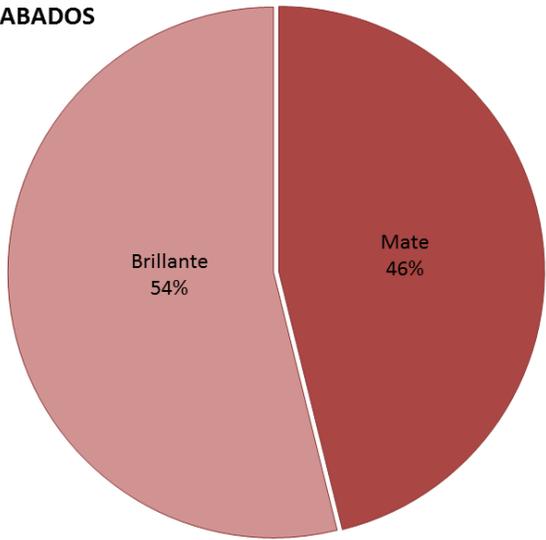
*Las fuentes de las imágenes se enlistan al final de este documento

Mosaico decorativo de usos múltiples						
PRODUCTO	COLOR(ES) Y ACABADO	FORMA	ENSAMBLE O ACOMODO	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	DESARROLLO DE MODULARIDAD	NÚMERO DE MÓDULOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO
 <p>4</p> <p>Mosaico Sanitario Fuente 4*</p>	5 tonos de cada color: Azul Rosa Amarillo Verde Rojo Mate	Triangular 	Las aristas tienen la misma longitud	Simétrica Regular	Radial Lineal: Transversal y Horizontal	1
		Estrella 				
 <p>5</p> <p>Módulo cerámico Andalusí Fuente 5*</p>	Blanco Negro Brillante Rojo Azul Verde Blanco Brillante	Triangular 	En los cantos hay coincidencia en secciones curvas	Irregular	Radial Lineal: Transversal, Horizontal y Vertical	6
		Circular Ovoide Cuadrado Hojas Curvas 				
 <p>6</p> <p>Viejos azulejos florales, cerámica en el gran palacio, Tailandia Fuente 6*</p>	Blanco Beige Amarillo Verde Naranja Mate	Circular Ovoide Cuadrado Hojas Curvas 	Los cuadrados tienen la misma longitud en sus lados, los demás módulos están colocados superpuestos y unidos por medio de cemento	Simétricas	Radial Lineal: Transversal, Horizontal y Vertical	6

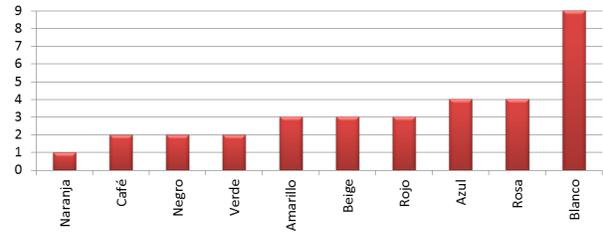
Mural Escultórico							
PRODUCTO	COLOR(ES) Y ACABADO	FORMA	ENSAMBLE O ACOMODO	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	DESARROLLO DE MODULARIDAD	NÚMERO DE MÓDULOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO	
<p>7</p>  <p>Cerámica Santelmo, Mural cerámico Fuente 7*</p>	Beige Café Brillante	Prisma Hexagonal 	Las aristas tienen la misma longitud	Regular en primer plano e Irregular en segundo plano	Radial Lineal: Transversal y Horizontal	1	
<p>8</p>  <p>Mural Equiláteros Fuente 7</p>	Azul Blanco Brillante	Prisma triangular 	En dos aristas tiene la misma longitud y dos módulos conforman un equilátero	Regular en primer plano e Irregular en segundo y tercer planos	Radial Lineal: Transversal y Horizontal	1	
<p>9</p>  <p>Mural Unicode Fuente 7*</p>	Azul Brillante	Cuadrado 	Las aristas tienen la misma longitud	Regular en primer plano e Irregular en segundo plano	Lineal: Vertical y Horizontal	1	

Otros usos diversos						
PRODUCTO	COLOR(ES) Y ACABADO	FORMA	ENSAMBLE O ACOMODO	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	DESARROLLO DE MODULARIDAD	NÚMERO DE MÓDULOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO
 <p>10. Módulos "Elegir entre varias posibilidades". Fuente 8*</p>	Blanco Mate	Prisma Elíptico Perforado en una de sus caras 	No tiene, los módulos no ensamblan entre sí, se hacen desarrollos realizando diversos acomodos	Simétrico Regular	Radial Lineal: Horizontal, Vertical y Transversal Apilamiento	1
 <p>11. "Fossile" extrusión cerámica. Fuente 9*</p>	Rosa Mate	Ovoide 	Cuenta con dientes que permiten el apilamiento	Irregular	Radial Lineal: Horizontal, Vertical y Transversal Apilamiento	1
 <p>12. Azulejos cerámicos que incorporan ya la maceta. Fuente 10*</p>	Blanco Brillante	Semi circular 	Las secciones curvas tienen el mismo ángulo	Simétrica	Lineal: Horizontal y Transversal	2
 <p>13. Fachada en forma de cortina. Fuente 2*</p>	Blanco Mate	Rectángulos 	Las piezas son planas, tienen la misma longitud del ancho en la parte superior e inferior; el acomodo es en riel, toman el principio de pregnancia	Simétrica Regular	Horizontal	2

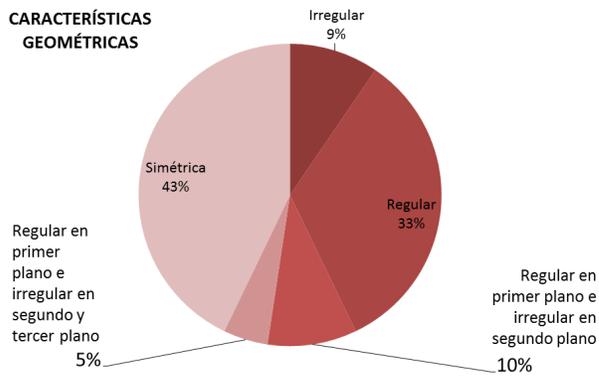
ACABADOS



COLOR



CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS



FORMA



Modularidad

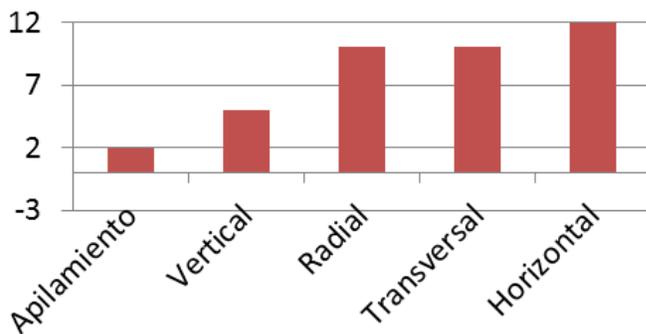
Ensamblaje y acomodo.

De análisis de las formas en que se desarrolla la modularidad en los objetos revisados, se observó que la característica principal que permite del desarrollo paramétrico es la **longitud** de las **aristas** de los objetos, siempre que sea la **misma**, permite parametrizar este valor y generar desarrollos.

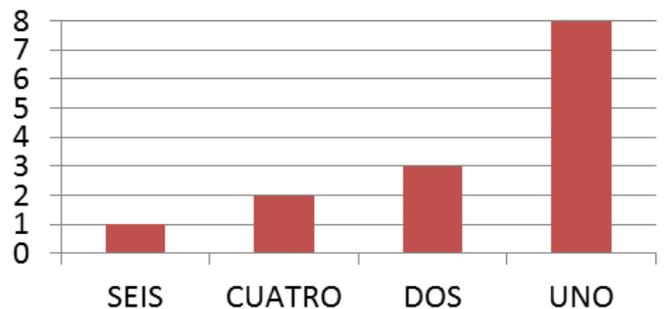
Se detectaron además **14 características** más que permiten la modularidad de los objetos cerámicos, detectando entre ellas que el valor del **ancho** y la **altura** de los objetos también pueden establecerse como parámetro de desarrollo.

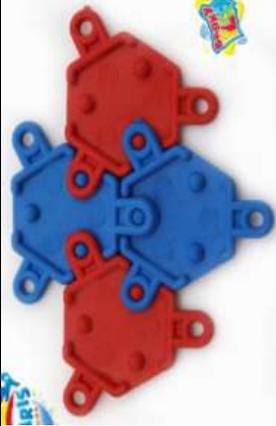
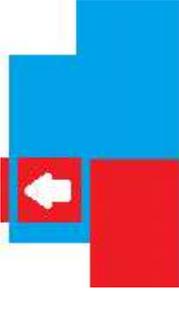
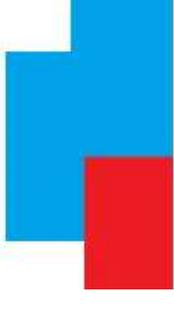
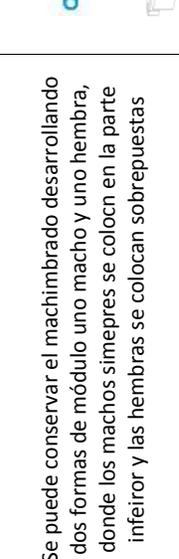
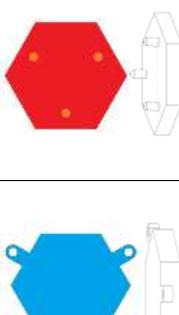


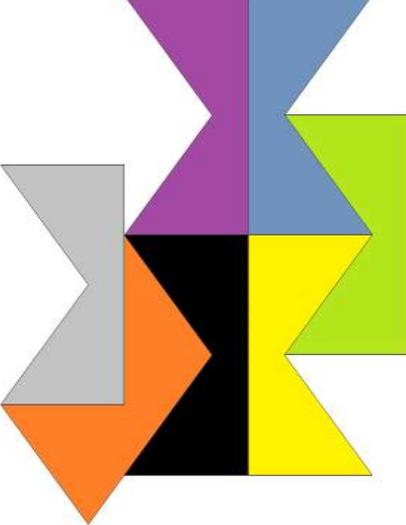
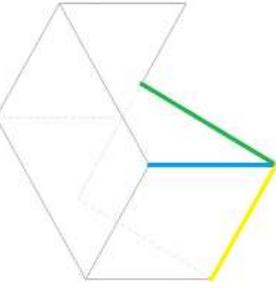
DESARROLLO DE LA MODULARIDAD

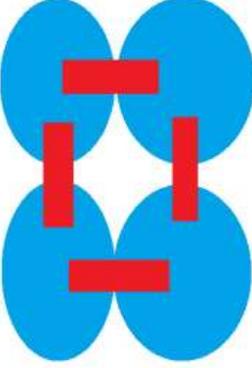
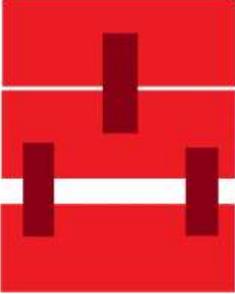


NÚMERO DE MÓDULOS QUE CONFORMAN EL DISEÑO

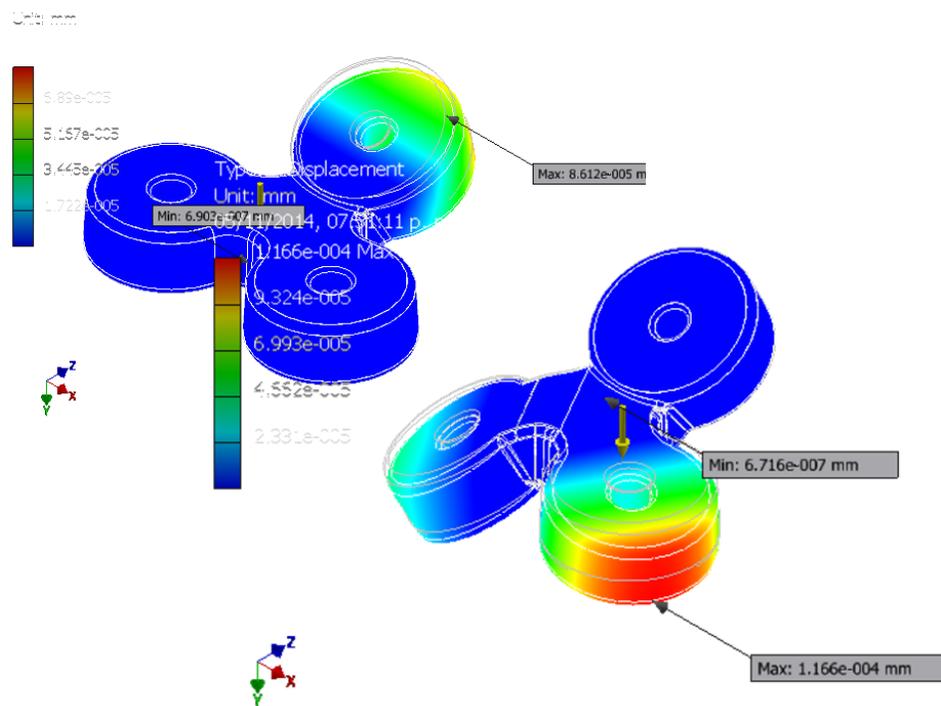


PRODUCTO	FORMA DE ACOMODO Y/O ENSAMBLAJE	SECCIÓN ANALIZADA
 <p>Tapete de plástico Fuente 11*</p>	<p>Ensamble macho hembra (el producto tiene 3 ensambles macho y 3 hembras), se ensambla por empalme y éste es posible debido a la flexibilidad del producto</p> 	<p>La sección que se puede desarrollar en materiales cerámicos solo es el acomodo de una pieza sobre de otra</p> 
<p>Macho</p> 	<p>DESARROLLO SUGERIDO</p>  <p>En productos cerámicos se puede homologar el empalme omitiendo el machimbrado</p>	
	<p>Se puede conservar el machimbrado desarrollando dos formas de módulo uno macho y uno hembra, donde los machos siempre se colocn en la parte inferior y las hembras se colocan sobrepuestas</p> 	

<p>PRODUCTO</p>  <p>Mobiliario, módulos pacman Fuente 12*</p>	<p>FORMA DE ACOMODO Y/O ENSAMBLAJE</p> <p>El acomodo se realiza con mucha facilidad debido a que el producto solo tiene dos dimensiones diferentes</p> 	<p>SECCIÓN ANALIZADA</p> <p>El aspecto que se puede contemplar para el desarrollo de productos cerámicos es contemplar que 3 de sus cuatro dimensiones miden lo mismo</p> 
<p>SECCIÓN</p> 	<p>DESARROLLO SUGERIDO</p> <p>En productos cerámicos se pueden hacer módulos combinando varios de este desarrollo</p> 	<p>DESARROLLO SUGERIDO</p> 

<p>PRODUCTO</p>  <p>Ensamble de madera de "galleta" Fuente 13*</p>	<p>FORMA DE ACOMODO Y/O ENSAMBLAJE</p> <p>Este ensamble de "galleta" permite unir piezas por medio de un inserto que facilita unir cuando las secciones de corte tienen más o menos de 90°, este tipo de ensambles permite una mayor área de contacto entre las piezas a unir y esto genera un ensamble con mayor resistencia</p> 	<p>SECCIÓN ANALIZADA</p> <p>El aspecto que se puede contemplar para el desarrollo de productos cerámicos es la realización de módulos complementarios usando este principio para unir los módulos cerámicos y crear desarrollos a partir de ellos.</p> 
<p>SECCIÓN</p>  <p>Ensamble de madera de "galleta" Fuente 13*</p>	<p>DESARROLLO SUGERIDO</p> <p>En productos cerámicos se pueden hacer módulos combinando varios módulos aplicando esta forma de ensamble o desarrollo</p>  	

Anexo E. Análisis estructural de modelos



Stress Analysis Report

Autodesk®

Analyzed File:	CINCO-1_analysis.ipt
Autodesk Inventor Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	05/11/2014, 07:12 p. m.
Simulation Author:	INSPIRON
Summary:	

Project Info (iProperties)

Custom

Physical

Material	Concrete, Exposed Aggregate
Density	2.40731 g/cm ³
Mass	0.587682 kg
Area	34443.7 mm ²
Volume	244124 mm ³
Center of Gravity	x=0.00000938643 mm y=7.70724 mm z=-0.894215 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	05/11/2014, 07:11 p. m.
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	Yes

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.5
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	Yes

Material(s)

Name	Concrete, Exposed Aggregate	
Name	Mass Density	2.40731 g/cm ³

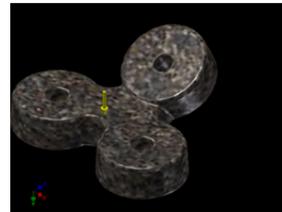
General	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	CINCO-1_analysis	

Operating conditions

Gravity

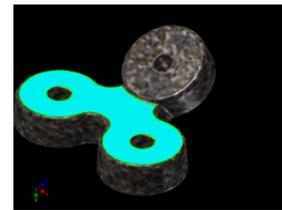
Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

Selected Face(s)



Fixed Constraint:1

Selected Face(s)



Results

Reaction Force and Moment on Constraints

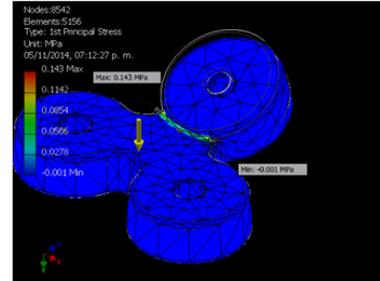
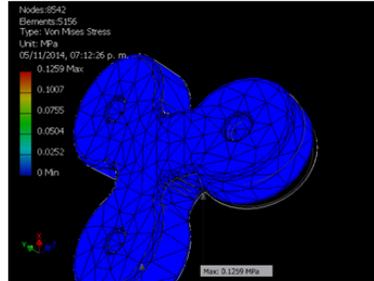
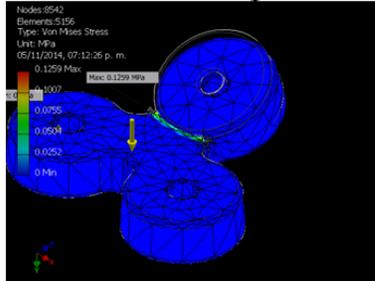
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint :1	5.76463 N	0 N	0.102654 N m	0.102654 N m
		-5.76463 N		0 N m
		0 N		0 N m

Name	Minimum	Maximum
Volume	244171 mm ³	
Mass	0.587795 kg	
Von Mises Stress	0.0000932312 MPa	0.125869 MPa
1st Principal Stress	-0.000999506 MPa	0.14304 MPa
3rd Principal Stress	-0.0201085 MPa	0.0172369 MPa
Displacement	0 mm	0.0000891654 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul
Stress XX	-0.00373541 MPa	0.0268078 MPa
Stress XY	-0.0230709 MPa	0.0272312 MPa
Stress XZ	-0.0349028 MPa	0.0362055 MPa
Stress YY	-0.00560165 MPa	0.045294 MPa
Stress YZ	-0.0160216 MPa	0.0401009 MPa
Stress ZZ	-0.0137201 MPa	0.135416 MPa
X Displacement	-0.000000700524	0.000000698705

	mm	mm
Y Displacement	-0.000000690313	0.0000861229 mm
Z Displacement	-0.0000106531 mm	0.0000509546 mm
Equivalent Strain	0.00000000601999	0.0000486123 ul
1st Principal Strain	0.00000000480418	0.0000058858 ul
3rd Principal Strain	-0.00000144621	0.0000000310699
Strain XX	-0.000000287831	0.000000534701 ul
Strain XY	-0.00000115801	0.00000136683 ul
Strain XZ	-0.0000017519	0.00000181728 ul
Strain YY	-0.000000461135	0.00000174797 ul
Strain YZ	-0.000000804183	0.0000020128 ul
Strain ZZ	-0.000000573534	0.00000550587 ul

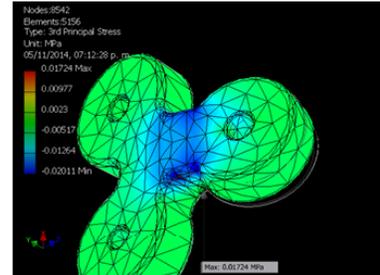
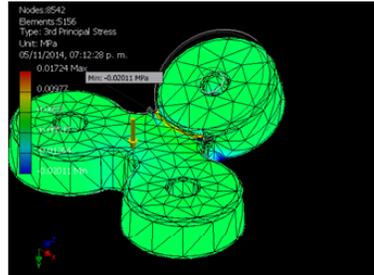
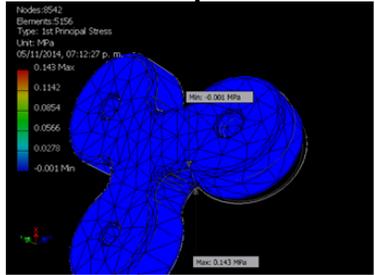
Figures Von Mises Stress

1st Principal Stress



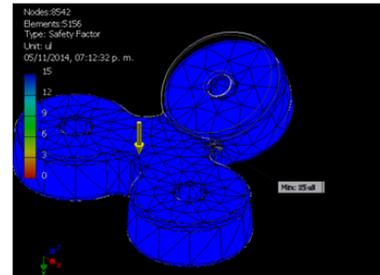
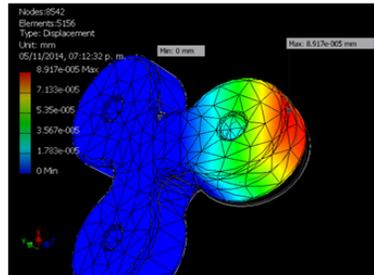
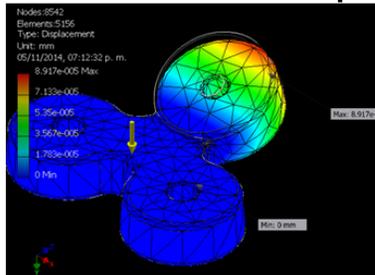
1st Principal Stress

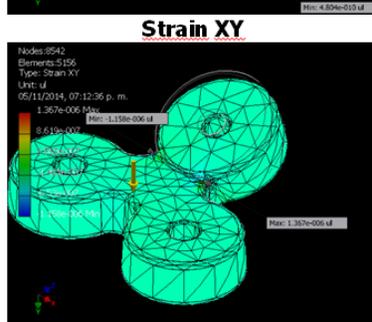
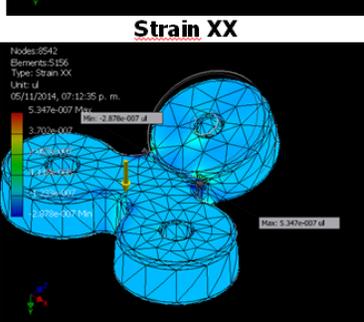
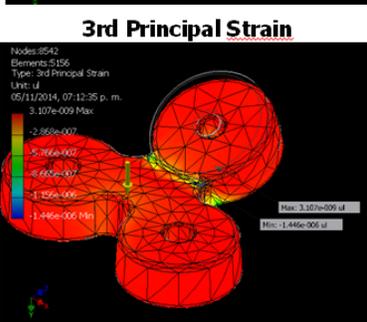
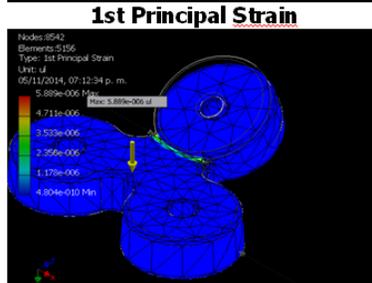
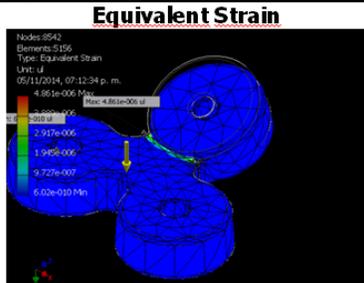
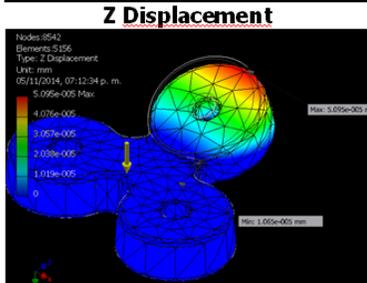
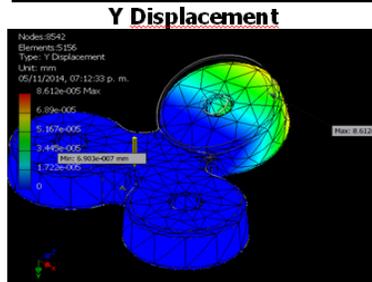
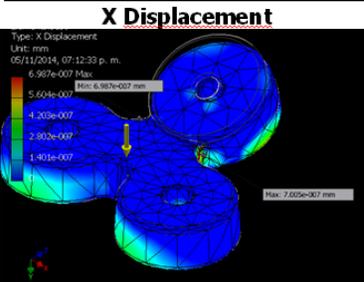
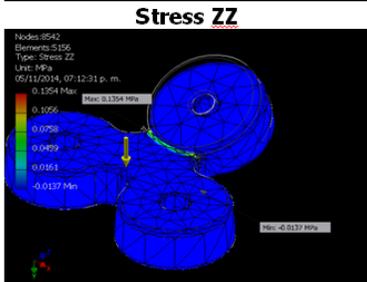
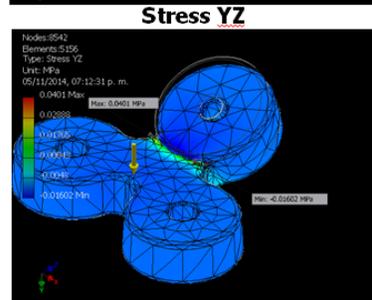
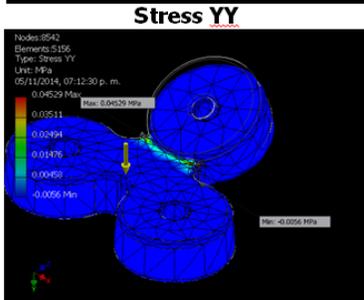
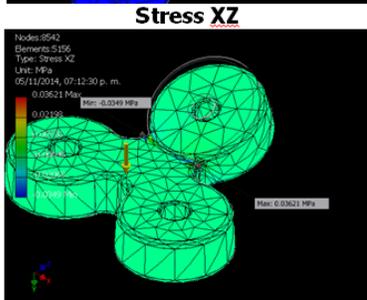
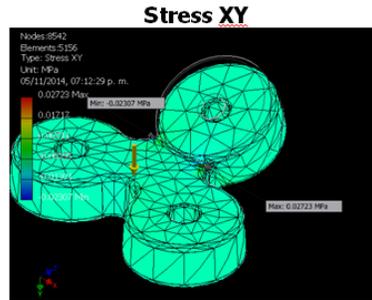
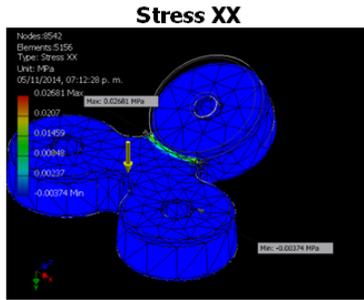
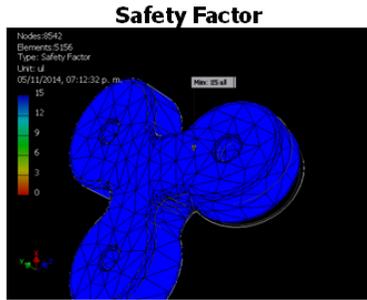
3rd Principal Stress



Displacement

Safety Factor





Stress Analysis Report



Analyzed File:	radial par uno.iam
Autodesk Inventor Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	14/11/2014, 12:41 a.m.
Simulation Author:	SANDRA

☐ Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

☐ Physical

Mass	545.4 kg
Area	5319320 mm ²
Volume	226560000 mm ³
Center of Gravity	x=140.133 mm y=-114.723 mm z=-70.2316 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

☐ Simulation:1 General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	14/11/2014, 12:40 a.m.
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

☐ Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

☐ Material(s)

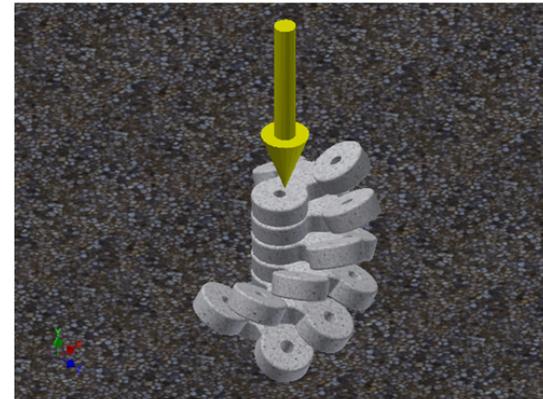
Name	Concrete	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	CUATRO-2 (6), ancla 3	

Name	Concrete, Broom Finish	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	ancla 2	

☐ Operating conditions ☐ Gravity

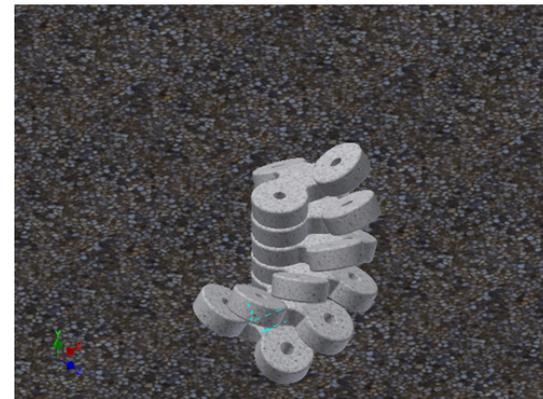
Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

☐ Selected Face(s)



☐ Fixed Constraint:1 - 6

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------



☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

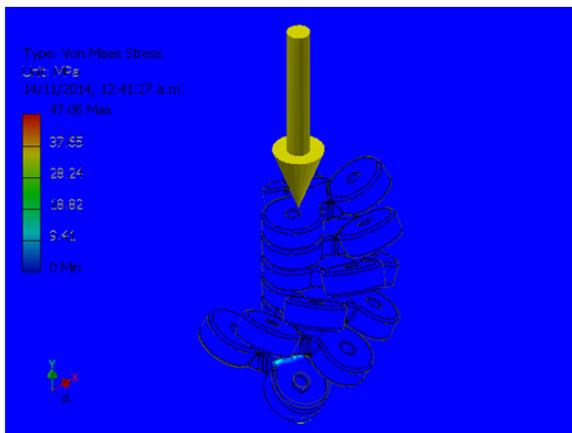
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	161.509 N	107.62 N	1.13871 N m	-0.141922 N m
		118.266 N		0.477799 N m
		-22.7221 N		-1.02383 N m
Fixed Constraint:2	148.721 N	28.1251 N	1.8085 N m	0.412077 N m
		144.664 N		0.984942 N m
		19.9749 N		-1.45971 N m
Fixed Constraint:3	373.54 N	-5.09621 N	9.91468 N m	8.12954 N m
		373.476 N		1.36964 N m
		4.64035 N		-5.50776 N m
Fixed Constraint:4	456.85 N	1.56675 N	6.84038 N m	5.90602 N m
		453.151 N		2.26588 N m
		58.0002 N		2.60299 N m
Fixed Constraint:5	949.422 N	-129.615 N	12.1748 N m	5.21401 N m
		906.74 N		1.91351 N m
		249.85 N		10.8341 N m
Fixed Constraint:6	3368.63 N	-2.99099 N	56.3701 N m	-46.3466 N m
		3354.35 N		6.20224 N m
		-309.885 N		31.4821 N m

☐ Result Summary

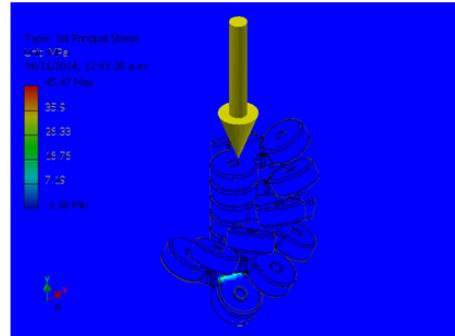
Name	Minimum	Maximum
Volume	226560000 mm ³	
Mass	545.401 kg	
Von Mises Stress	0.0000334408 MPa	47.0624 MPa
1st Principal Stress	-2.38166 MPa	45.4652 MPa
3rd Principal Stress	-20.6223 MPa	5.27078 MPa
Displacement	0 mm	0.49491 mm
Safety Factor	0.0455574 ul	15 ul

☐ Figures

☐ Von Mises Stress



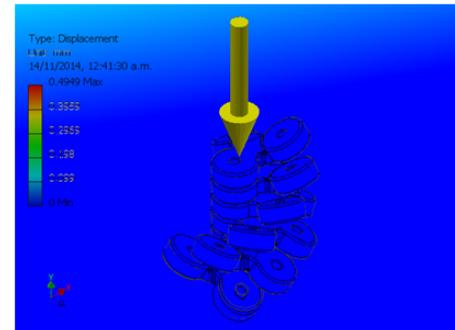
☐ 1st Principal Stress



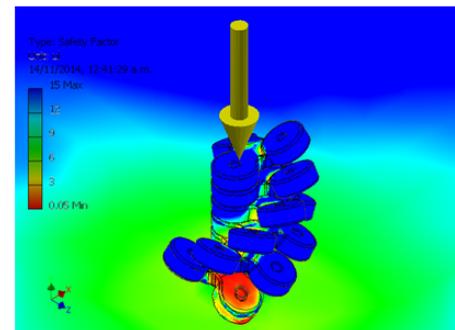
☐ 3rd Principal Stress



☐ Displacement



☐ Safety Factor



Stress Analysis Report

Autodesk®

Analyzed File:	radial par uno.iam
Autodesk Inventor Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	14/11/2014, 12:47 a.m.
Simulation Author:	SANDRA

[-] Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

[-] Physical

Mass	545.4 kg
Area	5319320 mm ²
Volume	226560000 mm ³
Center of Gravity	x=140.147 mm y=-114.723 mm z=70.1483 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

[-] Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	14/11/2014, 12:46 a.m.
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

[-] Material(s)

Name	Concrete	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	CUATRO-2 (6), ancla 3	

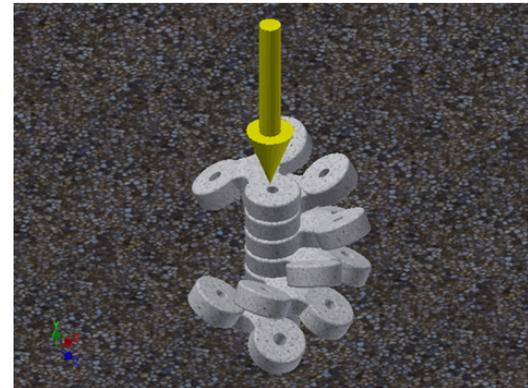
Name	Concrete, Broom Finish	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	ancla 2	

[-] Operating conditions

[-] Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

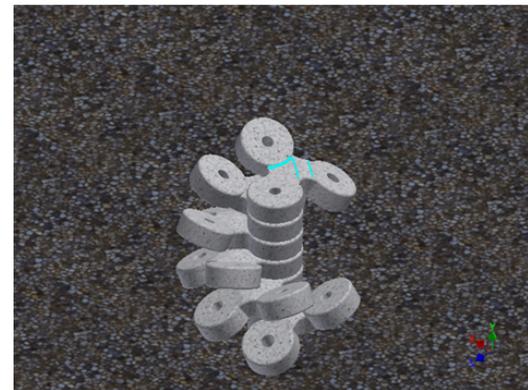
[-] Selected Face(s)



[-] Fixed Constraint:1

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------

[-] Selected Face(s)



☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

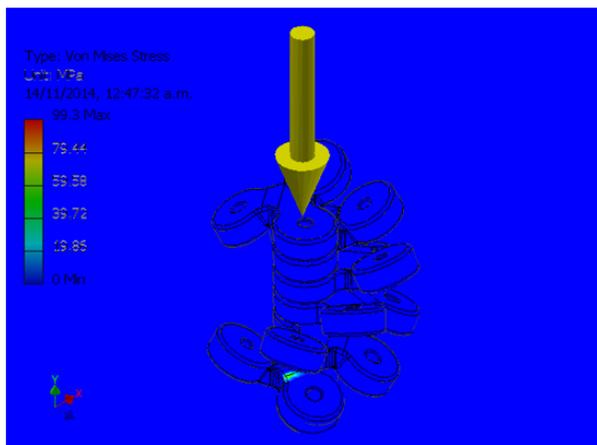
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1316.65 N	360.971 N	22.1846 N m	-14.9575 N m
		1214.58 N		12.3579 N m
		-357.837 N		-10.757 N m
Fixed Constraint:2	1526.82 N	-138.222 N	32.6686 N m	-8.48859 N m
		1470.4 N		19.8989 N m
		387.287 N		-24.4788 N m
Fixed Constraint:3	4680.62 N	-1092.45 N	156.215 N m	57.7184 N m
		4241.92 N		78.3833 N m
		1649.52 N		-122.179 N m
Fixed Constraint:4	2739.28 N	-929.287 N	58.1112 N m	46.7549 N m
		2546.04 N		34.5052 N m
		397.167 N		-0.525794 N m
Fixed Constraint:5	2136.71 N	-957.383 N	55.8073 N m	29.4923 N m
		1788.09 N		32.42 N m
		-672.091 N		34.5486 N m
Fixed Constraint:6	6666.48 N	2755.35 N	109.246 N m	96.8388 N m
		-5904.07 N		43.7002 N m
		-1411.37 N		25.4393 N m

☐ Result Summary

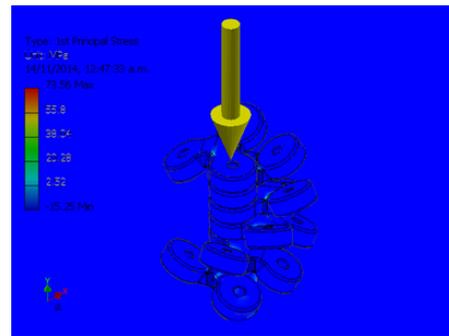
Name	Minimum	Maximum
Volume	226560000 mm ³	
Mass	545.401 kg	
Von Mises Stress	0.000322212 MPa	99.3033 MPa
1st Principal Stress	-15.2461 MPa	73.5615 MPa
3rd Principal Stress	-97.5574 MPa	6.81124 MPa
Displacement	0 mm	2.1323 mm
Safety Factor	0.0217128 ul	15 ul

☐ Figures

☐ Von Mises Stress



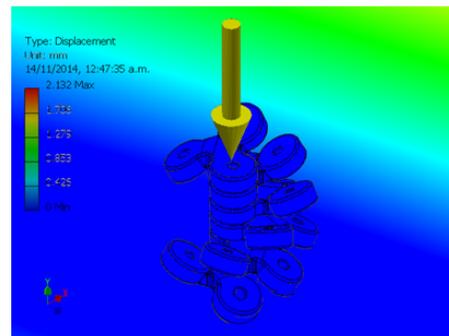
☐ 1st Principal Stress



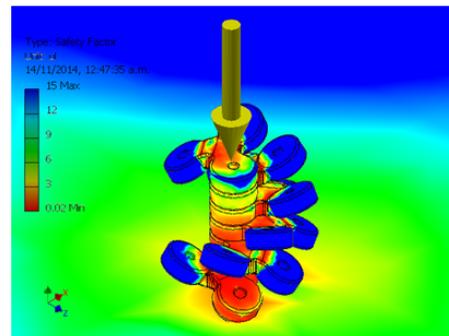
☐ 3rd Principal Stress



☐ Displacement



☐ Safety Factor



Stress Analysis Report

Autodesk®

Analyzed File:	radial par uno mat.iam
Autodesk Inventor Version:	2013 (Build 170138000, 138)
Creation Date:	14/11/2014, 01:09 a.m.
Simulation Author:	SANDRA
Summary:	

[-] Status

Design Status	WorkInProgress
---------------	----------------

[-] Physical

Mass	545.4 kg
Area	5319320 mm ²
Volume	226560000 mm ³
Center of Gravity	x=140.133 mm y=-114.723 mm z=70.2316 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

[-] Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	14/11/2014, 01:08 a.m.
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

[-] Material(s)

Name	Concrete	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	CUATRO-2 (6), andca 3	

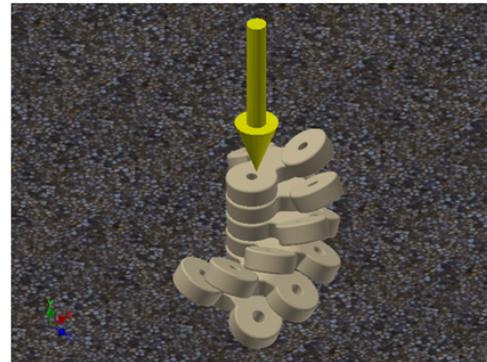
Name	Concrete, Broom Finish	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	andca 2	

[-] Operating conditions

[-] Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	-9810.000 mm/s ²
Vector Z	0.000 mm/s ²

[-] Selected Face(s)



[-] Fixed Constraint:1

Constraint Type	Fixed Constraint
-----------------	------------------

[-] Selected Face(s)



☐ Results

☐ Reaction Force and Moment on Constraints

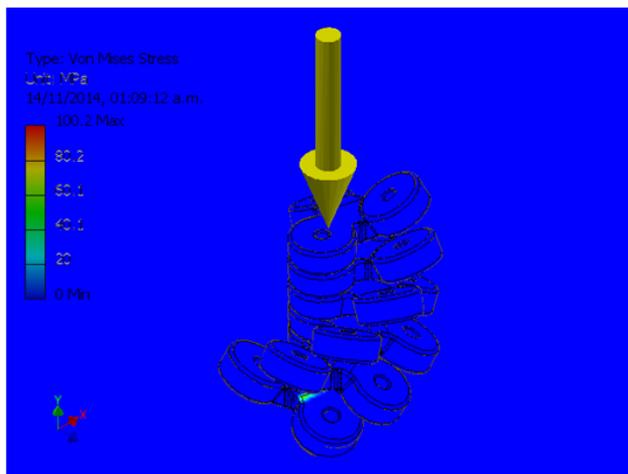
Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	1356.5 N	689.687 N	25.2788 N m	-2.9806 N m
		1154.21 N		18.8534 N m
		179.465 N		-16.5736 N m
Fixed Constraint:2	1498.52 N	-212.308 N	35.442 N m	6.28292 N m
		1389.23 N		26.5821 N m
		520.113 N		-22.5843 N m
Fixed Constraint:3	5033.28 N	-1749.81 N	174.065 N m	116.505 N m
		4360.61 N		102.096 N m
		1804.74 N		-79.3838 N m
Fixed Constraint:4	2674.74 N	-970.688 N	58.46 N m	41.6866 N m
		2470.7 N		36.3066 N m
		328.098 N		19.0166 N m
Fixed Constraint:5	2300.23 N	-879.173 N	62.2825 N m	22.8678 N m
		1851.89 N		39.6069 N m
		-1043.37 N		42.2785 N m
Fixed Constraint:6	6877.26 N	3117.58 N	111.969 N m	95.713 N m
		-5863.51 N		51.2648 N m
		-1787.93 N		27.3495 N m

☐ Result Summary

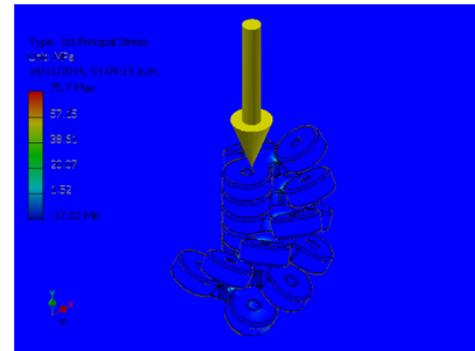
Name	Minimum	Maximum
Volume	226560000 mm ³	
Mass	545.401 kg	
Von Mises Stress	0.000266371 MPa	100.205 MPa
1st Principal Stress	-17.0194 MPa	75.6966 MPa
3rd Principal Stress	-99.3694 MPa	8.51634 MPa
Displacement	0 mm	2.14839 mm
Safety Factor	0.0213795 ul	15 ul

☐ Figures

☐ Von Mises Stress



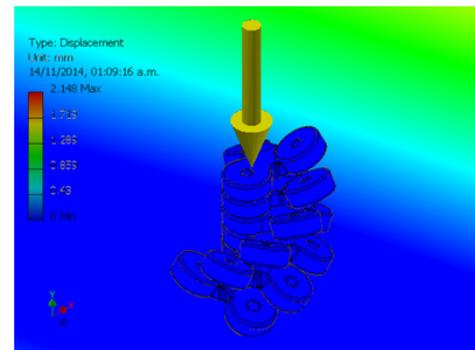
☐ 1st Principal Stress



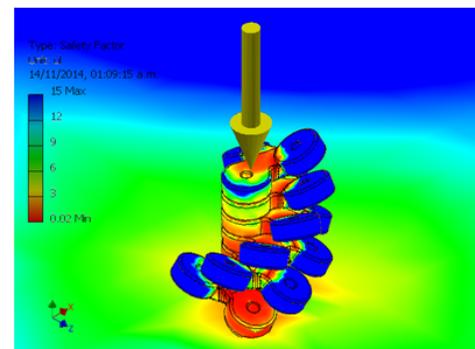
☐ 3rd Principal Stress



☐ Displacement



☐ Safety Factor



Stress Analysis Report

Autodesk®

Physical

Mass	21.5097 kg
Area	1281670 mm ²
Volume	8935170 mm ³
Center of Gravity	x=118.53 mm y=-234.205 mm z=95.9666 mm

Simulation:1

General objective and settings:

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	Yes
Motion Loads Analysis	No

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

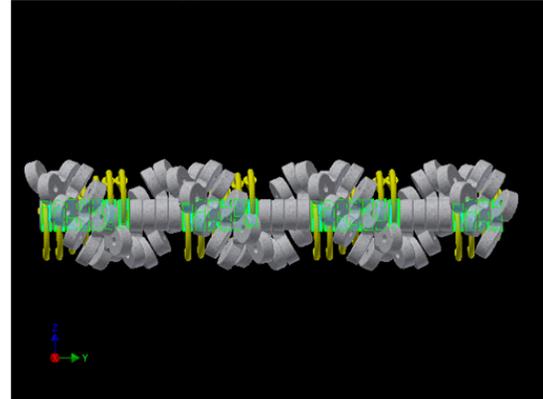
Name	Concrete, Precast Panels	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	3.44756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	3.44756 MPa
Stress	Young's Modulus	27.791 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	11.907 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)

Operating conditions

▣ Moment:1

Load Type	Moment
Magnitude	1.000 N mm
Vector X	0.037 N mm
Vector Y	-0.999 N mm

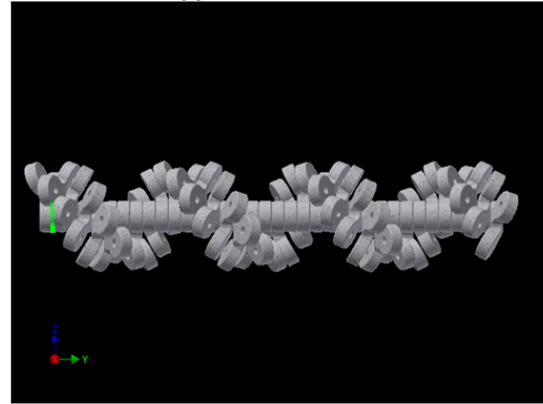
▣ Selected Face(s)



▣ Frictionless Constraint:1

Constraint Type	Frictionless Constraint
-----------------	-------------------------

▣ Selected Face(s)



▣ Results

▣ Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Frictionless Constraint:1	0.0000557385 N	0.00000854458 N	0.000196162 N m	-
		0.000000432307 N		0.00000321841 N m
		-0.0000550797 N		0.000190822 N m
				0.0000453455 N m

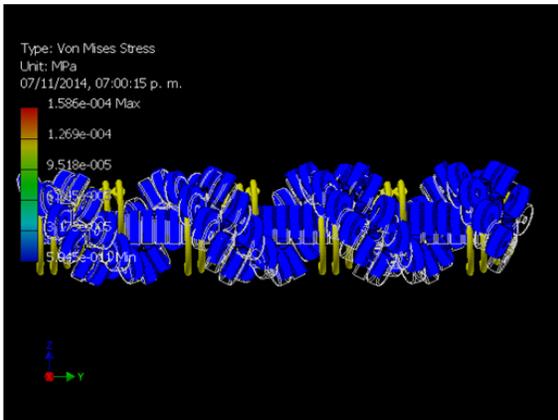
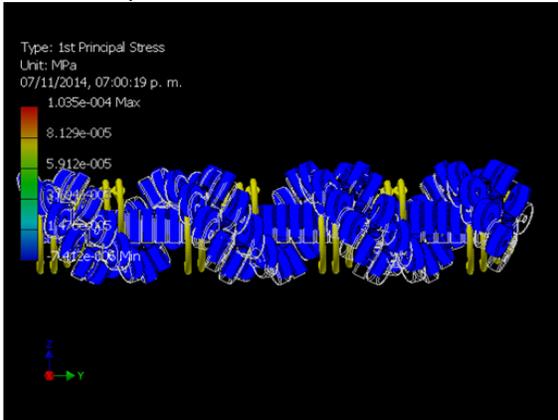
▣ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Volume	8936720 mm ³	
Mass	21.5135 kg	
Von Mises Stress	0.000000000594546 MPa	0.000158637 MPa
1st Principal Stress	-0.00000741157 MPa	0.00010347 MPa
3rd Principal Stress	-0.0000909389 MPa	0.00000422686 MPa
Displacement	0 mm	0.00000219001 mm
Safety Factor	15 ul	15 ul

Figures

- Von Mises Stress

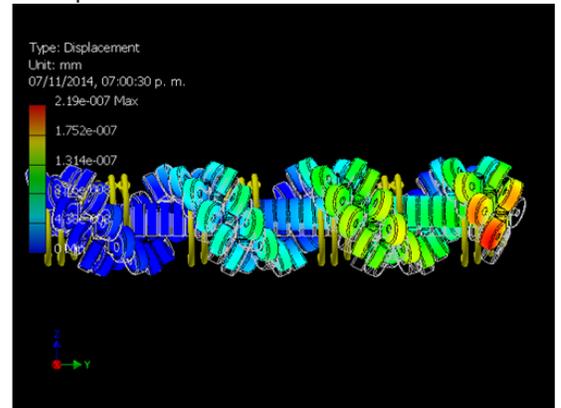
1st Principal Stress



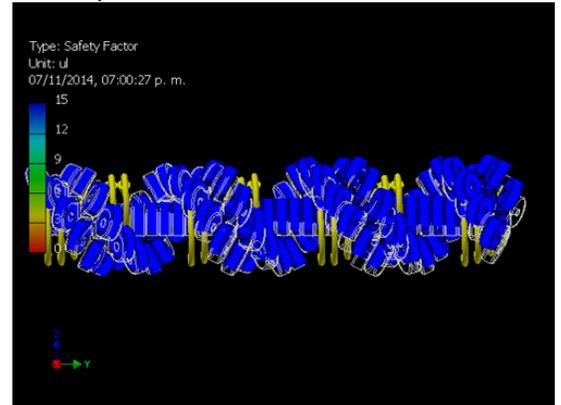
3rd Principal Stress



Displacement



Safety Factor



Stress Analysis Report

Autodesk®

Physical

Mass	21.5097 kg
Area	1281670 mm ²
Volume	8935170 mm ³
Center of Gravity	x=118.332 mm y=-234.205 mm z=95.9662 mm

Note: Physical values could be different from Physical values used by FEA reported below.

Simulation:1

Mesh settings:

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0.1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0.2
Grading Factor	1.5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

Material(s)

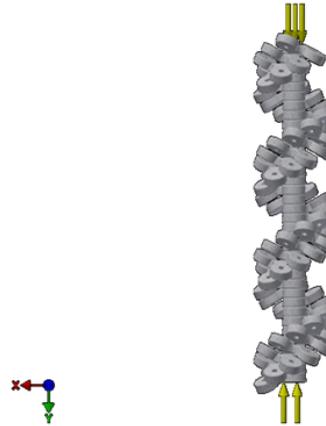
Name	Concrete, Precast Panels	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	3.44756 MPa
	Ultimate Tensile Strength	3.44756 MPa
Stress	Young's Modulus	27.791 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	11.907 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Name	Concrete	
General	Mass Density	2.40731 g/cm ³
	Yield Strength	2.41329 MPa
	Ultimate Tensile Strength	2.41329 MPa
Stress	Young's Modulus	23.25 GPa
	Poisson's Ratio	0.167 ul
	Shear Modulus	9.96144 GPa
Stress Thermal	Expansion Coefficient	0.00001 ul/c
	Thermal Conductivity	1.6 W/(m K)
	Specific Heat	1000 J/(kg c)
Part Name(s)	Part4	

Operating conditions

Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810.000 mm/s ²
Vector X	0.000 mm/s ²
Vector Y	9810.000 mm/s ²
Vector Z	-0.000 mm/s ²

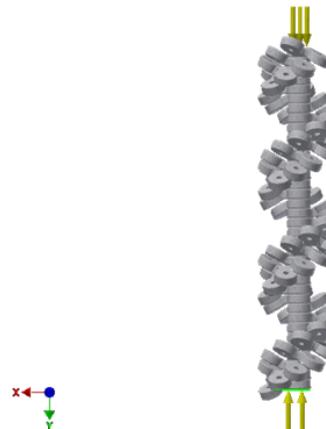
Selected Face(s)



Pressure:1

Load Type	Pressure
Magnitude	1.000 MPa

Selected Face(s)



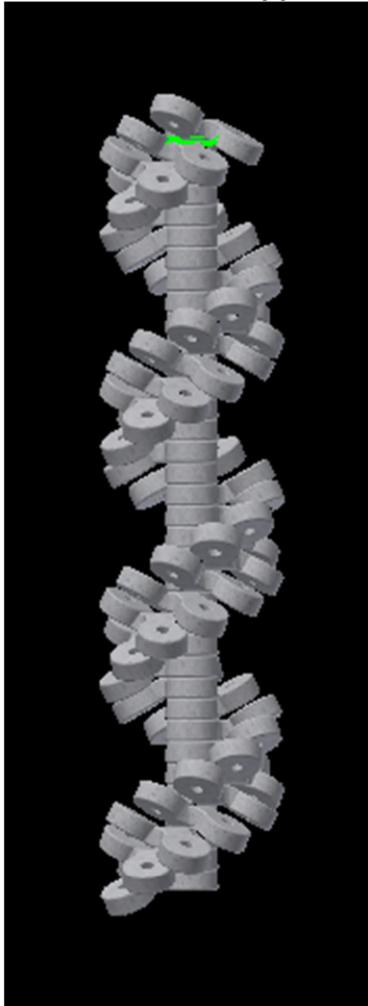
Pressure:2

Load Type	Pressure
Magnitude	1.000 MPa

Selected Face(s)



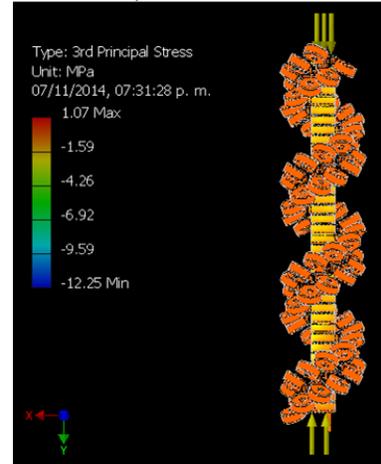
- Frictionless Constraint:1
- Selected Face(s)



Result Summary

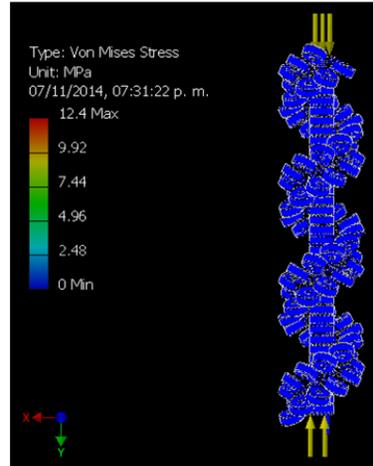
Name	Minimum	Maximum
Volume	8936720 mm ³	
Mass	21.5135 kg	
Von Mises Stress	0.0007537 MPa	12.3977 MPa
1st Principal Stress	-2.74147 MPa	13.3703 MPa
3rd Principal Stress	-12.2511 MPa	1.0724 MPa
Displacement	0 mm	1269.25 mm
Safety Factor	0.278081 ul	15 ul

3rd Principal Stress

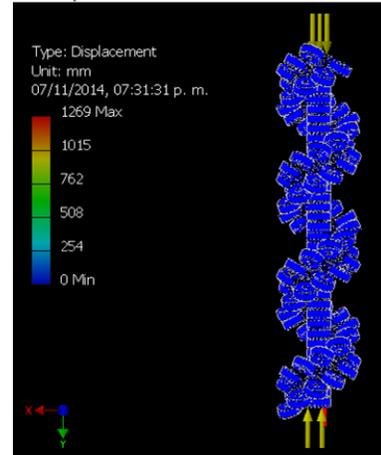


Figures

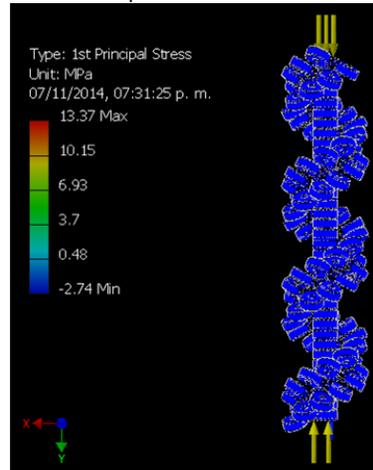
Von Mises Stress



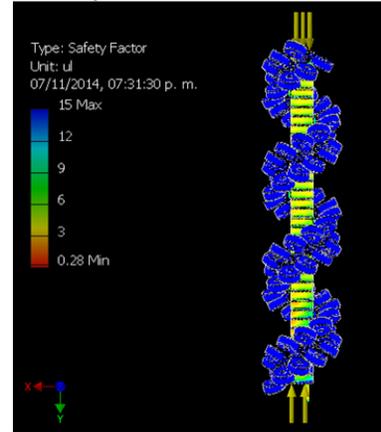
Displacement



1st Principal Stress



Safety Factor

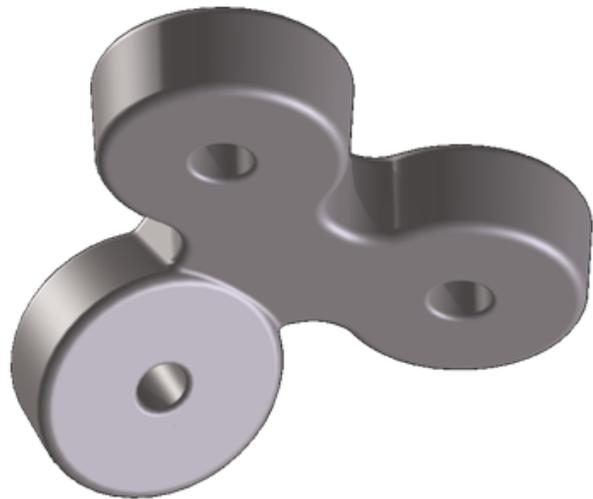


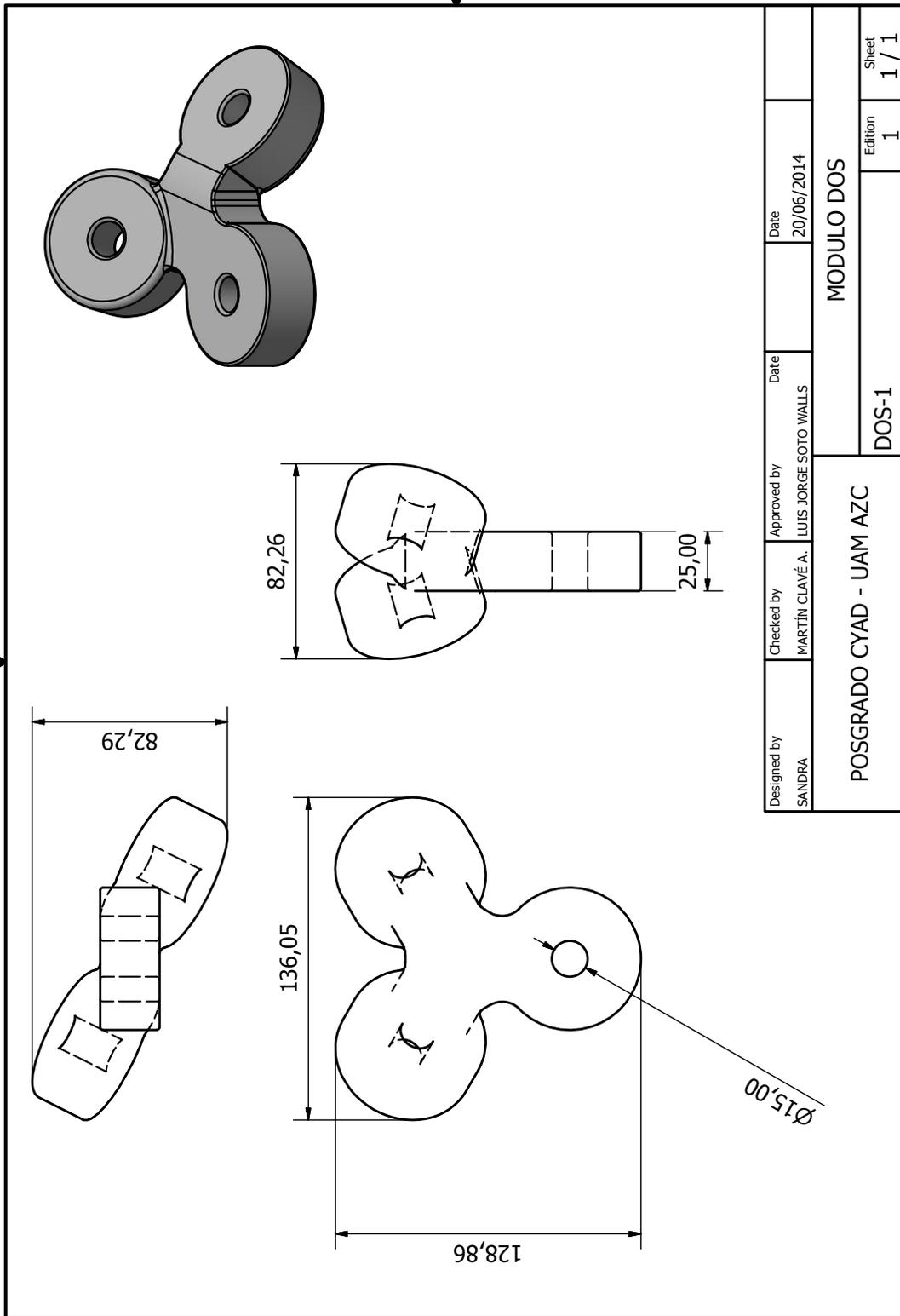
Results

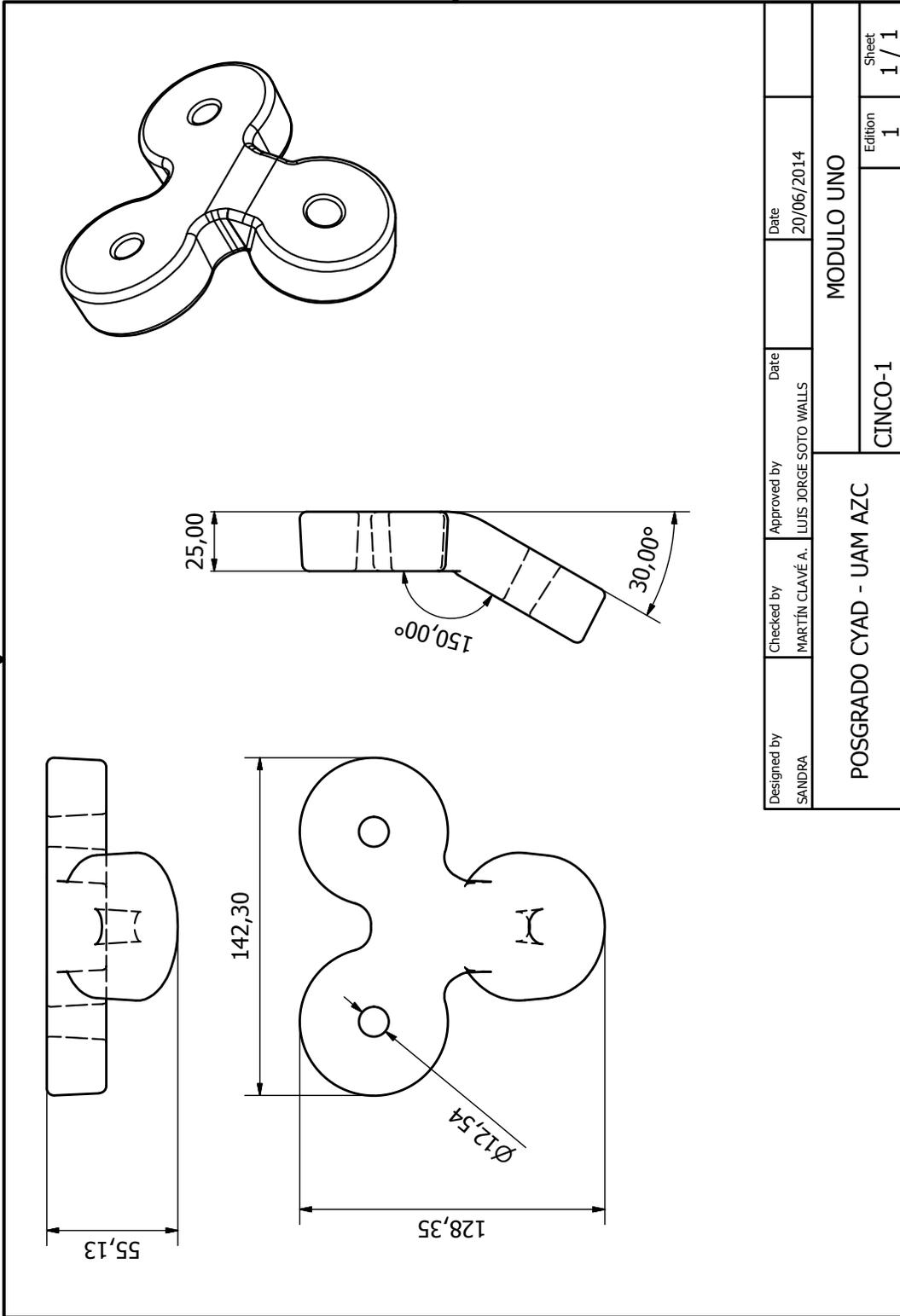
Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Frictionless Constraint:1	26.2557 N	-	31.9316 N m	30.2695 N m
		1.27986 N		2.17347 N m
		25.0044 N		9.93282 N m
		7.90613 N		

Anexo F. Panos







Designed by SANDRA	Checked by MARTÍN CLAVÉ A.	Approved by LUIS JORGE SOTO WALLS	Date 20/06/2014
POSGRADO CYAD - UAM AZC		DESARROLLO 4	
		ESCALA	1
		Edition	1
		Sheet	1 / 1

Anexo G. Curriculum vitae

Sandra Rodríguez Mondragón



Diseñadora Industrial por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Su experiencia en procesos de producción y sistemas de gestión de calidad le han dado la oportunidad de desarrollarse con Burea Veritas, apoyando a los Centros de distribución de Wal Mart del Estado de México, en el mejoramiento de productos de sus “marcas propias”; al igual que con INDUSTRIAS SINGEMEX para COMERCIAL MEXICANA en el sector de marca CM y GOLDEN HILLS.

Ha colaborado como Coordinadora de procesos en Sony Music Entertainment México y con la implementación de sistemas de gestión de calidad para el GRUPO ROMANO en su división de fibras naturales en TEXTILES DENIM.

Ha tomado diversos cursos de actualización de CAD y manufactura, destacándose en el ámbito de los materiales pétreos, particularmente la cerámica, inclinándose por la creación de artículos utilitarios con acabados artísticos.

En la UAM Azcapotzalco uno de sus primeros retos fue apoyar al L.A.V. Carlos E. Hernández G. en el desarrollo del proyecto de investigación “Propuesta didáctica para abordar los contenidos de escultura de programa de artes visuales de la reforma la Educación Secundaria

2006”, y en el proyecto de investigación: “Investigación, análisis y experimentación cerámica de técnicas, materiales y nuevas tecnologías plásticas y CAD-CAM, aplicadas al diseño” dentro del grupo de Investigación: Aprendizajes en el hábitat comunitario, espacio de diseño, valoración conceptual y aprendizaje pedagógico; ambos proyectos pertenecientes al departamento de Investigación y Conocimiento de CyAD; su más reciente colaboración ha sido en diversas actividades enfocadas a la promoción y difusión de la cultura con el Mtro. Manuel Martín Clavé Almeida en el área de investigación de Historia del diseño, perteneciente al Departamento de Evaluación del Diseño en el Tiempo de CyAD.

Para la realización de este proyecto el Comité de Becas del COMECYT²⁶, le ha otorgado una Beca Continua de Posgrado, en la modalidad de Maestría, promoción 2013 misma que le fue renovada en 2014.

²⁶COMECYT: Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología

Índice de figuras

2.1.1.Castellón, J. 2011. Generación Paramétrica de Estructura abovedada.	10
2.1.2.Rodríguez, S. 2013. Modelado de “Sólidos platónicos”, impresión de pantalla de inventor 2012®.	11
2.1.3.Hernández, C. 2013. Serie de mosaicos cerámicos cuadrados y triangulares esmaltados en blanco y amarillo en desarrollo radial.	11
2.1.4.Tejado, J. 2005. Captura de pantalla del proceso de tratamiento de datos de escaneo.	12
2.1.5.Tejado, J. 2005. Resultado final del prototipado.	12
2.2.1.Reijnders, A. 2008. Objeto modelado en Rhino.	13
2.2.2.Reijnders, A. 2009. La obra Microcosmos X3. 2009. Impreso en yeso 4.9 in.	14
2.2.3.Mobutu, M. 2008. Cuporgan-Highandlow, impreso en ABS (izquierda) e impreso en yeso (derecha) 9.1x4.5x3.5 in.	14
2.2.4.Cassell, H. 2003 - 2013. “Cell Stem”.	15
2.2.5.Cassell, H. 2003 - 2013. “Vaulted Keep”.	15
2.2.6.Lewitt, S. 1974. “Incomplete open cube”.	16
2.2.7.Lewitt, S. 1974. Variables de “Incomplete open cube”.	17
3.1.1.Rodríguez, S. 2014. Formas de un módulo.	20
3.2.1.Wucius, W. 1995. Ejemplos de repetición.	21
3.2.2.Rodríguez, S. 2014. Ritmo.	22
3.2.3.Murgia, V., 2008. Simetrías.	23
3.2.4.Munari, B., 1981. Sistema modular.	23
3.3.1.Vargas, M.A., 2013. Funciones de las redes.	23
3.3.2.Rodríguez, S. 2014. Redes cuadradas.	24
3.3.3.Wong, W. 1995. Variantes de redes básicas.	24
3.3.4.Rodríguez, S. 2014. Redes triangulares.	25

3.3.5.Rodríguez, S. 2014. Redes mixtas.	25
3.3.6.Rodríguez, S. 2014. Redes orgánicas.	26
3.3.7.Vasarely,V., 1955-1997. Redes de Vasarely.	26
3.4.1.Basado en Wong, W., 1995. Modelos de las características del diseño Bi-dimensional.	27
3.5.1.S.Rodríguez, 2014. Modelo tridimensional, plano XYZ.	28
3.5.2.Wong, W., 1995. Estructuras bi dimensionales, convertidas en células espaciales.	29
3.5.3.Wong, W., 1995. Prismas regulares e irregulares.	29
3.5.4.Quesada, C., 2006. Sólidos Platónicos	30
3.5.5.Sólidos Arquimideanos.	31
3.5.6.Wucius, W. 1995. Relación entre dos círculos.	31
3.5.7.Rodríguez, S. 2014. Desarrollo modular en modelado tridimensional.	32
3.6.1.Vambersky et al., 2002. Construcción modular. Esquema de modulación en una planta.	34
3.6.2.Pujadas, A., 2003. Esquema de construcción modular.	34
4.1.1.Derek & Rogers, 1984. Diferencia entre cerámicas.	36
4.1.2.Rodríguez, S. 2014. Cerámica tradicional.	38
4.1.3.Rodríguez, S. 2014. Cerámica avanzada.	39
4.1.4.Rodríguez, S., 2014. Clasificación de la cerámica por temperatura de cocción.	40
4.1.5.Rodríguez, S. 2014. Proceso general de la cerámica.	40
4.1.6.Galán & Aparicio, 2006. Criterios para la elección de la materia prima cerámica.	42
4.4.1.Rodríguez, S. 2014. Proceso de modelado en baja presión o vaciado.	46
4.4.2.Blanco, F., 2008. Proceso de conformado por prensado.	46
4.4.3.Rodríguez, S. 2013. Modelado artístico o plástico.	47
4.4.4.Blanco, F., 2008. Diversas boquillas de extrusión.	47
4.4.5.Gal Or, E. 2012. Extrusora.	48
4.4.6.Hoskins, S. 2012. Objeto cerámico modelado con impresión 3D en cerámica.	49
4.5.1.Bedolla, P. 2003. Cualidades sensoriales de materiales naturales: pétreos.	50
4.5.2.Giorello, C. 2014. Paleta de color.	51
4.5.3.Limonero, J. 2003. Modelo circular de las emociones.	52
4.6.1.Malpessa 2012-2013. Ladrillos.	53
4.6.2.CMAOT, 2004. Acomodo de ladrillos.	54
4.6.3.Patxi mangado y el Estudio ADD+Bailo Rull, 2010. Celosías, “Tras la celosía y Vivir”.	55

4.6.4.Expo Archi 2005. Pabellón de España.	55
4.6.5.CEU, 2013. Magia en el baño.	56
4.6.6.Santelmo, M. 2013. Mosaico para mural artesanal “Equilatero”.	57
4.6.7.DESIGN, 2013. Azulejos artesanales “Único”.	57
4.6.8.Velikov, V. 2013. Mosaico.	58
4.6.9.Oulhani, Garzon & Sionis, 2008. Estante modular “Fossile”.	58
4.6.10. Revival, 2007. Florero “Tebra”.	59
4.6.11. Beyun, V. 2012.“Misty Dawn”.	60
4.6.12. Beyun, V. 2012. Passion Series #1.	61
4.6.13. Walgate, W. 2007. <i>Bye Baby Bunting Cradle, Play at Being y Study on Blue Czech Pitcher</i>	61
4.6.14. Pilhofer, E. 2014.Wave Block.	62
4.7.1.Mc Curdy, J. 2004-2014.“ <i>Costa Rica Egg</i> ”.	63
4.7.2.Sol, Y. 2007. “ <i>Variation</i> ”.	64
4.7.3.Bufalo, U. 2011. “ <i>Reservoir Wall</i> ”.	64
5.2.1.Rodríguez, S. 2014. Esquema de la Producción de obra artística.	66
5.3.1.Escobar, I. 2009. Clasificación de las artes tiempo espacio.	68
5.3.2.Rodríguez, S. 2014. Las nuevas artes.	68
5.3.3.Zalaya, R. 2005. Clasificación de escultura matemática.	71
5.3.4.Rodríguez, S. 2014. Ubicación del proyecto en expresión artística.	71
5.4.1.Rodríguez, S. 2014. Producción de nuevas artes.	72
5.4.2.Barrallo, J. 1994. Escultura Virtual “Hypersculpture”.	73
5.5.1.Rodríguez, S. 2014. Aspectos que determinan el valor de la obra de arte.	75
5.5.2.Barry X. Ball, 2008-2012. Interpretación de Envy.	77
5.6.1.Rodríguez, S. 2014. Esferas de diversos materiales	78
5.6.2.Unfold, 2014. Extrusora de pasta y algunos trabajos hechos en ella.	79
5.6.3.Cortesía de http://canteriapasoapaso.blogspot.mx/ , 2014. Talla en piedra.	80
5.6.4.Rodríguez, S., 2013. Modelado de barro en estado plástico.	80
5.6.5.Chirino, M. 2011. Taller de forja.	81
5.6.6.Rodríguez, S., 2012. Escultura por vaciado.	81
5.6.7.Argonauta, 2006. Ensamblaje.	82

5.6.8. Ejemplo de bajo, medio, alto y hueco relieve: Calendario Azteca o Piedra del sol.	83
5.6.9. Ejemplo de escultura exenta: Monolito de Tláloc.	83
6.4.1.Martínez, R.R. & Cárdenas, R.A., 2006. Diseño paramétrico sistemático.	87
6.4.2.Martínez, R.R. & Cárdenas, R.A., 2006. Espacio de actividad del diseño.	87
6.4.3.Hadid, Z. 2008. La estación de Lowenhaus, Innsbruck, Austria.	88
6.4.4.Oxman, N. 2012. <i>Mythologies of the Not Yet</i>	89
6.4.5.Rodríguez, S. 2014. Variables del modelo.	89
6.5.1.Rodríguez, S. 2014. Aspectos del sistema.	90
6.5.2.Alawadhi, E. 2010. Tipos básicos de elementos y superficie elemental.	91
6.5.3.Alawadhi, E. 2010. Tipos de simetría.	92
6.5.4.Basado en Alawadhi, E. 2010. Familia de sistemas de simulación.	92
7.1.1.García, F., 2004. Etapas de la problematización.	95
7.1.2.Navarrina, F., 1987. Estructuración operativa del proceso de diseño; relaciones y transmisión de información entre los diversos niveles.	96
7.1.3.Archer, B., 1963. Metodología del diseño.	97
7.1.4.Rodríguez, S. 2014. Metodología desarrollada con base en García, Navarrina y Archer.	97
7.2.1.Rodríguez, S. 2013. Mapa del objeto de estudio.	98
7.3.1.Rodríguez, S. 2014. Obtención del Modelo CAD a partir de escaneo para impresión 3D.	100
7.3.2.Rodríguez, S. 2014. Formas básicas de crear volumen 3D.	100
7.3.3.Rodríguez, S. 2014. Expresión mínima de un círculo.	100
7.3.4.Rodríguez, S. 2014. Patrones de reproducción.	101
7.3.5.Rodríguez, S. 2014. Espacio geométrico XYZ.	102
7.3.6.Rodríguez, S. 2014. Línea ubicada en el espacio tridimensional.	103
7.3.7.Acuña, E. 2011. Técnica de discretización de An enabling technique. Liu et al. DM and KDD - 2002.	104
7.3.8.Rodríguez, S. 2014. Correcciones en las aristas de dos modelos CAD para impresión.	105
7.4.1.Modelo General del Proceso de Diseño de la UAM - Azcapotzalco.	106
7.4.2.Rodríguez, S. 2013. Modelos bidimensionales.	107
7.4.3.Rodríguez, S. 2013. Propuestas de diseño basadas en análisis de productos existentes y análogos, modelados en CAD, Inventor 2013®.	108

7.4.4.Rodríguez, S. 2014. Modelos en plastilina.	108
7.4.5.Rodríguez, S. 2014. Modelos CAD, basados en maquetas de plastilina.	109
7.4.6.Rodríguez, S. 2014. Modificaciones el modelo “b”.	110
7.4.7.Rodríguez, S. 2014. Modelo b, aplicación de modelado paramétrico.	111
7.4.8.Rodríguez, S. 2014. Ejemplo de variables dependiente e independientes.	111
7.5.1.Rodríguez, S. 2014. Modelos seleccionados “módulos b, 4 y 5”.	113
7.5.2.Rodríguez, S. 2014. Modelos impresos en 3D “módulos b, 4 y 5”.	114
7.6.1.Cantavella, E. 2007. Diagrama de cocción de gres precelánico.	115
7.6.2.Cantavella, E. 2007. Especificaciones del gres porcelánico.	116
7.6.3.Constan, C & Ogden, S, 1997. Fórmulas base para esmalte cerámico.	117
7.6.4.Rodríguez, S. & Hernández, C. 2013. Muestrario de esmaltes.	117
7.7.1.Viana, M. 2009. Rectángulo y espiral con sucesión Fibonacci.	118
7.7.2.Girasol e identificación de sucesión de Fibonacci.	119
7.7.3.Leonardo da Vinci, 1503-1519. La Gioconda o Mona Lisa, identificación de rectángulo áureo.	120
7.7.4.Ejemplos de Gestalt.	122
7.7.5.Rodríguez, S. 2014. Ensamble con acomodo radial.	123
7.7.6.Rodríguez, S. 2014. Dos propuestas de ensmble: orgánico y concéntrico simétrico.	124
7.7.7.Rodríguez, S. 2014. Representación gráfica de una de las propuestas de diseño mo- dular, modelada en CAD con materiales.	124
7.7.8.Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del modulo b5, apertura del archivo IGS en ANSYS 15®.	125
7.7.9.Rodríguez, S. 2014. Identificación de secciones del módulo b5.	125
7.7.10. Rodríguez, S. 2014. Identificación áreas del módulo b5.	126
7.7.11. Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del módulo b5, identificación de áreas o secciones del objeto.	126
7.7.12. Rodríguez, S. 2014. Análisis estructural del módulo b5, identificación de áreas.	127
7.7.13. Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo A.	127
7.7.14. Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo B.	128
7.7.15. Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo C.	129
7.7.16. Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo D.	129
7.7.17. Rodríguez, S. 2014. Simulación del desplazamiento en el modelo E.	130

7.8.1.Rodríguez, S. 2014. Propuesta e escultura B5 en cerámica, varios acabados.	131
7.8.2.Rodríguez, S. 2014. Propuestas de escultura C y D 7, análisis de desplazamiento en los ejes Z y Y	131
7.8.3.Rodríguez, S. 2014. Propuestas de escultura D 8 y D9, análisis de desplazamiento en el eje Y.	132
7.9.1.Rodríguez, S. 2014. Varinates de escultura con el módulo cuatro.	133
7.9.2.Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 1.	134
7.9.3.Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 2.	134
7.9.4.Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B5 instalación 3.	134
7.9.5.Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B9 instalación 4.	135
7.9.6.Rodríguez, S. 2014. Propuesta escultura B6 instalación 5.	135

Índice de cuadros

1.3.1. Personajes del medio artístico, ceramistas y especialistas entrevistados. . . .	6
2.2.1. Posibilidades de desarrollo de la obra “ <i>Incomplete Open Cube</i> ” que responden al planteamiento: $1 \leq n \leq 9$	16
6.3.1. Rodríguez, S. 2014. Programas de CAD CAM.	86
7.4.1. Rodríguez, S. 2013. Resumen de características de productos análogos. . . .	107
7.4.2. Rodríguez, S. 2014. Cuadro de variables paramétricas.	110
7.5.1. Ramírez & López, 2011. Fabricación aditiva: tecnologías y aplicaciones. . . .	113
7.6.1. Rodríguez, S. 2014. Aspectos indicados por Galán y Aparicio, para la selección de materiales.	114
7.6.2. Cantavella, E. 2007. Comportamiento de la pasta de gres porcelánico, con relación a sus componentes.	115
7.6.3. Rodríguez, S. 2014. Composición base de gres porcelánico, con base en lo realizado por Cantavella.	116
7.7.1. Rodríguez, S. 2014. Variables del ensamble paramétrico.	121
7.9.1. Producción de la propuesta.	132
7.9.2. Ficha técnica de la propuesta.	133

Índice general

I Proyecto de investigación	3
1. Definición del proyecto	4
1.1. Introducción	4
1.2. Planteamiento	5
1.3. Antecedentes de la situación problemática	5
1.3.1. Propuesta para definir el universo de estudio y muestra	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. General	6
1.5.2. Específicos	6
1.6. Justificación	7
1.7. Metodología	7
1.8. Aporte al Diseño	8
1.9. Descripción de la Tesis	8
2. Antecedentes	9
2.1. El uso de tecnologías CAD para el diseño	9
2.1.1. Arquitectura	9
2.1.2. Proyecto de diseño industrial “Sólidos Platónicos”	10
2.1.3. Arqueología	11
2.2. Producción artística con tecnologías CAD-CAM	13
2.2.1. Anton Reijnders y Malcolm Mobutu	13
2.2.2. Halima Cassell	15

2.2.3. Sol Lewitt	16
II Marco teórico conceptual	18
3. Modulaci3n	19
3.1. ¿Qu3 es un m3dulo?	19
3.2. Modularidad	20
3.2.1. Repetic3n	21
3.2.2. Ritmo	21
3.2.3. Simetr3a	21
3.2.4. Sistema modular	22
3.3. Redes	23
3.3.1. Cuadradas	24
3.3.2. Triangulares	25
3.3.3. Compuestas	25
3.3.4. Org3nicas	26
3.3.5. Mixtas	26
3.4. Modulaci3n bidimensional	27
3.5. Modulaci3n tridimensional	27
3.5.1. El plano XYZ	27
3.5.2. Volumen	28
3.5.3. Prismas	28
3.5.4. Estructuras poli3dricas	29
3.5.5. Desarrollo	30
3.6. Ensamble de m3dulos	31
3.6.1. Construcci3n modular	32
4. La cer3mica	35
4.1. Generalidades	35
4.1.1. La Cer3mica	35
4.1.2. Tipos de cer3mica	36

4.1.3.	Clasificación de la cerámica	38
4.1.4.	Producción de cerámica	40
4.1.5.	Materiales cerámicos	41
4.2.	Propiedades físicas	42
4.2.1.	Eléctricas	42
4.2.2.	Magnéticas	43
4.2.3.	Mecánicas	43
4.2.4.	Térmicas	43
4.3.	Características	43
4.3.1.	Plasticidad	44
4.3.2.	Fragilidad	44
4.3.3.	Dureza	44
4.3.4.	Densidad	44
4.3.5.	Rigidez	44
4.3.6.	Resistencia al desgaste	45
4.3.7.	Resistencia la ataque químico	45
4.3.8.	Baja conductividad térmica y eléctrica	45
4.4.	Técnicas para la producción de objetos cerámicos	45
4.4.1.	Vaciado	45
4.4.2.	Prensado	45
4.4.3.	Plástico	47
4.4.4.	Extrusión	47
4.4.5.	Extrusión CNC	48
4.4.6.	Impresión 3D	48
4.5.	Cualidades estéticas de los productos cerámicos	49
4.5.1.	Sensoriales	49
4.5.1.1.	Color y textura	50
4.5.2.	Formales	50
4.5.2.1.	Forma	50
4.5.3.	Vitales	52

4.6.	Cerámica modular	53
4.6.1.	Ladrillos	53
4.6.2.	Celosías	53
4.6.3.	Mosaico	54
4.6.4.	Mosaico con relieve	56
4.6.5.	Objetos utilitarios	56
4.6.6.	Escultura modular	59
4.7.	Cerámica paramétrica	60
5.	Obra artística	65
5.1.	La obra de arte	65
5.2.	Generación de la obra artística	66
5.3.	Clasificación del arte	67
5.3.1.	Tiempo espacio	67
5.3.2.	Las nuevas artes	67
5.4.	El arte y la tecnología	70
5.5.	El mercado del arte	73
5.5.1.	La reproducción de la obra	75
5.6.	La Escultura	76
5.6.1.	Materiales	78
5.6.2.	Técnicas escultóricas	79
5.6.3.	Tipos de escultura	81
6.	El CAD-CAM	84
6.1.	CAD	84
6.2.	CAM	85
6.3.	CAD-CAM	86
6.4.	Diseño paramétrico	86
6.5.	Análisis de elementos finitos	90
6.5.1.	Tipos de Elementos	91
6.5.2.	Simetría	91

6.5.3. Simulación	91
6.6. Ventajas del uso del CAD CAM	93

III Diseño de módulos cerámicos como base para el desarrollo de propuestas artísticas **94**

7. Desarrollo de la propuesta	95
7.1. Metodología	95
7.2. Definición del problema	96
7.3. Análisis de datos	99
7.3.1. Consideraciones para el diseño de modelos en CAD	99
7.3.2. Consideraciones del diseño paramétrico	101
7.3.3. Consideraciones del análisis de elementos finitos	102
7.3.4. Consideraciones de la impresión 3D	104
7.4. Propuestas de diseño	106
7.4.1. Proceso de diseño	106
7.4.2. Bocetos 2D	107
7.4.3. Bocetos 3D	107
7.4.4. Bocetos CAD	109
7.5. Producción del prototipo e impresión	112
7.6. Selección de materiales	112
7.6.1. Muestrario de acabados	115
7.7. Pruebas y experimentación	117
7.7.1. Composición	117
7.7.1.1. Sucesión de Fibonacci	118
7.7.1.2. Teoría Gestalt	118
7.7.2. CAD	121
7.7.3. Análisis estructural	122
7.7.3.1. Módulo	123
7.7.3.2. Supermódulos	126

7.8. Proyección de propuestas de cerámica artística empleando el modelado paramétrico	129
7.9. Producción de la propuesta seleccionada	130
Conclusiones	136
Conclusiones	137
Fuentes de Consulta	140
Bibliografía	142
Sitios WEB	146
ANEXO A. Instrumentos de investigación	154
ANEXO B. Escaneo con CREAFORM	167
ANEXO C. Sólidos platónicos	169
ANEXO D. Productos existentes	179
ANEXO E. Análisis estructural de modelos	193
ANEXO F. Planos	198
ANEXO G. Curriculum Vitae	200
Índice de figuras	206
Índice de cuadros	207